



Hur gymnasieläroböcker i fysik behandlar kursplansmål med kvantmekanisk anknytning

Ken Åman

Examensarbete 10 poäng

VT 2007

Sammanfattning

Inledningsvis identifieras de mål i kursplanen för fysik B på gymnasieskolan som har kvantmekaniskt innehåll. Syftet med detta arbete är att genom en textanalys utifrån dessa identifierade kursmål, beskriva hur fem gymnasieläroböcker i fysik B tar upp de utvalda målbeskrivningarna. När det gäller hur atomers struktur presenteras, saknar en av böckerna en modern kvantmekanisk beskrivning och tre böcker ger ingen modern kvantmekanisk beskrivning av elektronernas positioner i en atom. Problem med hur spinn ska beskrivas finns överlag i alla böckerna. Alla läroböckerna förankrar sin framställning om sambandet mellan energinivåer och atomspektra i Bohrs atommodell. Alla introducerar också fotonbegreppet på liknande sätt; genom Plancks kvanthypotes och Einsteins ljuspartikelantagande (när han förklarade den fotoelektriska effekten). En sammanfattning av slutsatserna blir att det finns vissa problem med framställningen av kvantmekaniska fenomen i läroböckerna och i synnerhet då det gäller atomers struktur. Detta kan medföra problem när eleverna ska uppfylla kursplanens mål.

Nyckelord: Kvantmekanik, kursplan, gymnasieskolan, läroböcker, fysikböcker.

Abstract

In the national syllabus for the B-course in physics for the Swedish upper secondary school, there are some stated objectives to be achieved. This paper identifies the objectives that have quantum mechanical related content. The aim is then to analyse how five Swedish textbooks for the B-course in physics for upper secondary school describe physics that are related to these identified objectives. One of the books do not have a quantum mechanical description of the structure of the atom and two of the other books lack a quantum mechanical description of the positions of the electrons inside an atom. There is a general problem how spin is presented. All books describe the electronic energy levels and atomic spectra in the light of the atomic model of Bohr. All books do also introduce the photon in the quantum hypotheses of Planck and Einstein's explanation of the photoelectric effect. The main conclusion of this study is that there are some problems how the textbooks present physics that have quantum mechanical related objectives in general, but in particular those parts that are related to the atomic structure. This can lead to problems for the students to fulfil the goals in the syllabus.

Förklaringar

Banrörelsemängdsmoment	Rörelsemängdsmomentet för kropp som rör sig i en sluten bana.
Elektronisk energiövergång	Elektron som ”hoppas” mellan olika energinivåer i en atom eller molekyl.
Excitation	Energiövergång från en lägre till en högre energinivå. För elektronisk energiövergång i en atom är det en foton i området kring det synliga spektrat som upptas.
Emission	Energiövergång från en högre till en lägre energinivå. För elektronisk energiövergång i en atom är det en foton i området kring det synliga spektrat som avges.
Foton	Den elektromagnetiska strålningens minsta energikvantum; har partikelegenskaper.
Rörelsemängd	Produkt av massa och hastighetsvektor
Rörelsemängdsmoment	Krossprodukt av en vektorsträcka och en rörelsemängdsvektor
Spinn	Den kvantmekaniska (mikroskopiska) motsvarigheten till rörelsemängdsmomentet för den klassiska bilden av en makroskopiskt roterande kropp.

Förkortning

KKMD Kursplaneförankrade kvantmekaniska delar (definieras i metoddelen).

Innehållsförteckning

Sammanfattning	i
Abstract	ii
Förklaringar	iii
Förkortning	iii
Innehållsförteckning	iv
1 Inledning	1
1.1 Ett nedslag i kvantmekanikens första 30 år av utveckling	1
1.1.1 Kvanthypotesen, fotonen, Bohrs atommodell, spinn och en matrisformuleringen av kvantmekaniken	2
1.1.2 Våg/partikel-dualitet, vågfunktion, vågekvationer och Pauliprincipen	2
1.1.3 Obestämbarhetsrelationer och tunnling	3
1.2 Didaktisk forskning med anknytning till kvantmekanik och läroböcker	4
1.3 Kvantmekanik i kursplanen för Fysik B i gymnasieskolan	5
1.4 Syfte och frågeställningar	6
2 Metod	7
2.1 Urval av fysikgymnasieböcker	7
2.2 Uppdelning i kvantmekaniska områden utifrån kursplanen	7
2.2.1 Atomers struktur	8
2.2.2 Samband mellan energinivåer och atomspektra	8
2.2.3 Fotonen	8
2.3 Metod för läroboksanalysen	9
3 Resultat	11
3.1 Ergo Fysik B	11
3.1.1 Atomers struktur	11
3.1.2 Samband mellan energinivåer och atomspektra	11
3.1.3 Fotonen	12
3.2 Heureka Fysik B	12
3.2.1 Atomers struktur	12
3.2.2 Samband mellan energinivåer och atomspektra	12
3.2.3 Fotonen	13
3.3 NeXus Fysik B	13
3.3.1 Atomers struktur	13
3.3.2 Samband mellan energinivåer och atomspektra	14
3.3.3 Fotonen	14
3.4 Orbit Fysik B	14
3.4.1 Atomers struktur	14
3.4.2 Samband mellan energinivåer och atomspektra	15
3.4.3 Fotonen	15
3.5 Quanta Fysik B	16
3.5.1 Atomers struktur	16
3.5.2 Samband mellan energinivåer och atomspektra	16
3.5.3 Fotonen	17
3.6 Resultatsammanfattning	17
3.6.1 Atomers struktur	17
3.6.2 Sambandet mellan energinivåer och atomspektra	18
3.6.3 Fotonen	19
4 Diskussion	20
4.1 Innehållet i läroböckerna	20
4.1.1 Atomers struktur	20

4.1.2 Samband mellan energinivåer och atomspektra.....	20
4.1.3 Fotonen.....	21
4.2 Skapar läroböckerna förutsättningar för att uppfylla de kvantmekaniskt relaterade målen i kursplanen?	22
4.2.1 Atomers struktur.....	22
4.2.2 Samband mellan energinivåer och atomspektra.....	22
4.2.3 Fotonen.....	22
4.3 Slutsatser för undervisning.....	22
5 Litteraturförteckning	24
5.1 Analyserade läroböcker.....	24
5.2 Referenser.....	24
Bilaga 1: Sammanfattning av textanalys för Ergo Fysik B	
Bilaga 2: Sammanfattning av textanalys för Heureka Fysik B	
Bilaga 3: Sammanfattning av textanalys för NeXus Fysik B	
Bilaga 4: Sammanfattning av textanalys för Orbit Fysik B	
Bilaga 5: Sammanfattning av textanalys för Quanta Fysik B	

1 Inledning

I en av skolverkets informationsdokument om gymnasieskolan (Skolverket, 2005) kan man läsa angående styrdokument att:

”Läroplanen anger skolans värdegrund och grundläggande riktlinjer och mål. De styrdokument som anger kraven i utbildningen är program mål, kursplaner och betygskriterier.”

När man skriver ett läromedel så är det essentiellt att man förankrar sin framställning i dessa styrdokument. När det gäller det innehåll som författare väljer ut att ha med i en kursbok avsedd för någon av skolans kurser är det speciellt viktigt att titta på vad det står i den specifika kursplanen.

Hur gymnasieläroböcker i fysik behandlar och tar upp kvantmekanik är ett relativt outforskat område men trots detta är det intressant i ett didaktiskt perspektiv. Anledningen till att det är intressant är för att det kan öka lärarens didaktiska kompetens inom kvantmekanik, så att man förhoppningsvis efter att ha läst detta arbete börjar reflektera och problematisera runt hur man framställer områden som rymmer kvantmekanik. En annan anledning är för att de som skriver och ger ut läroböcker med kvantmekaniskt innehåll också börjar reflektera hur de egentligen framställer fenomen och teorier med kvantmekanisk förankring. Jag har också under min verksamhetsförlagda del vid en större gymnasieskola, i min praktisk pedagogiska utbildning vid Umeå universitet, märkt att det finns ett stort intresse bland en del gymnasieelever för modern fysik; kvantmekanik och relativitetsteori. Dessa elever tar gärna till sig populärvetenskapliga framställningar från exempelvis böcker, television och Internet. Att en lärobok ger en strukturerad och vetenskapligt förankrad kvantmekanisk framställning kan för dessa elever skapa en grund för att de kan sätta in sina förvärvade kunskaper i ett vetenskapligt förankrat sammanhang.

I detta examensarbete förenar jag dessa två viktiga perspektiv; hur man framställer kvantmekanik i läroböcker och vad kursplanen skriver att man ska ta upp inom det kvantmekaniska området. Detta görs genom att jag tittar på hur gymnasieläroböcker för fysik B behandlar de delar i den nationella kursplanen för fysik B som innehåller mål med kvantmekanisk anknytning. Detta arbete avgränsar sig därför till endast fysikläroböcker för gymnasieskolans kurs B. Sålunda analyseras eller diskuteras ej andra böcker eller läromedel för gymnasiet även om de är utgivna av samma förlag och berör de områden jag analyserar.

1.1 Ett nedslag i kvantmekanikens första 30 år av utveckling

I början och 1900-talet fanns många experiment (Styer, 1999) som inte kunde förklaras av de klassiska teorierna, vilka är: Klassisk mekanik (utvecklad av Sir Isaac Newton med flera) och klassisk elektrodynamik (utvecklad av James Clerk Maxwell med flera). Detta banade väg för två nya revolutionerande teorier: Relativitetsteorin och kvantmekaniken. Fast de har runt ett sekel på nacken så kallas de fortfarande för den moderna fysiken. Då kvantmekaniken (till skillnad från relativitetsteorin¹) har en brokig historisk utveckling med många inblandade personer, väljer jag att ge en kortfattad beskrivning av utvecklingen. Detta betyder att den historiska beskrivningen absolut inte eftersträvar att ge en komplett bild, utan ger på ett enkelt och tydligt sätt en historisk kontext till olika teorier och experiment som varit viktiga för kvantmekanikens historiska utveckling.

¹ Utveckling av denna teori brukar i huvudsak tillskrivas Albert Einstein.

1.1.1 Kvanthypotesen, fotonen, Bohrs atommodell, spinn och en matrisformuleringen av kvantmekaniken

Planck (1899, 1900, 1901) väljs som utgångspunkt för den historiska beskrivningen av kvantmekanikens utveckling, i och med att han lade fram idén om kvantisering av ljusenergin (E) med hjälp av Plancks konstant (h): $E = hf$, där f är ljusfrekvensen. Detta gjorde han för att kunna lösa det svårknäckta problemet med svartkroppsstrålningens utseende (Serway et al., 1989). Einstein (1905a) använde sedan Plancks ljusenergikvantisering när han kvantiserade ljusets energi i så kallade ljuskvanta (så kallade fotoner) för att förklara den fotoelektriska effekten som tidigare hade upptäcktes av Hertz² (1887).

Bohr (1913) lade fram en ny beskrivning av väteatomen där atomens energi och elektronens banrörelsemängdsmoment³ bara antogs kunna ha diskreta värden (det vill säga antogs vara kvantiserade). Bohrs arbete brukar refereras som Bohrs atommodell och förutsäger också växelverkan med ljus genom två postulat, som citerat från hans arbete lyder:

(1) *“That the dynamical equilibrium of the systems in the stationary states can be discussed by help of the ordinary mechanics, while the passing of the systems between different stationary states cannot be treated on that basis.”*

(2) *“That the latter is followed by the emission of a homogeneous radiation, for which the relation between the frequency and the amount of energy emitted is the one given by Planck’s theory.”*

Genom dessa antaganden kunde Bohr förklara de diskreta spektrallinjer som väteatomen sände ut. Denna teori kallas dock i dag av en del för den *gamla* kvantmekaniken då elektronerna i denna teori fortfarande antogs röra sig runt atomkärnan i planetliknande banor, vilket medför att Bohrs atommodell är en så kallad semiklassisk teori. Den *gamla* kvantmekaniken utvecklades i slutet på 1910-talet av Niels Bohr, Arnold Sommerfeld och William Wilson (Ivanov, 2006). Det bör också nämnas att det var Bohr som lanserade den viktiga korrespondens principen (Nielsen, 1976), i vilken han säger att kvantmekaniken ska reduceras till den klassiska fysiken i gränsen av stora kvanttal.

Den *nya* (moderna) kvantmekaniken utvecklas sedan under 1920-talet och framåt, där bland annat fenomen som spinn, våg/partikel-dualitet, materievågor, obestämbarhetsrelationer och tunnling avtäcktes och förklarades. Stern och Gerlach var de som i en serie av experiment (Stern, 1921; Gerlach & Stern, 1921, 1922a, 1922b, 1924, 1925) lyckades påvisa elektronspinn genom att de i ett inhomogent magnetiskt fält lyckades urskilja endast två olika typer av elektroner, de som hade med- respektive motriktat magnetiska moment (skulle visa sig var spinn) i förhållande till det yttre magnetfältet. De insåg dock inte vidden av sin upptäckte då de var inne på att de visade på kvantisering av elektronens banrörelsemängdsmoment. Spinn anses numera vara en fundamental egenskap hos subatomära partiklar, på samma grundläggande konceptionella nivå som exempelvis laddning och massa. Heisenberg (1925) gjorde en flygande start i den teoretiska utvecklingen av den moderna kvantmekaniken när han introducerar övergångssannolikheter mellan kvanttillstånd. Heisenberg, Born och Jordan utvecklade sedan detta till en matematisk modell för kvantmekaniken baserad på matriser (Born & Jordan, 1925; Born, Heisenberg & Jordan, 1925).

1.1.2 Våg/partikel-dualitet, vågfunktion, vågekvationer och Pauliprincipen

Ljusets, den elektromagnetiska strålningens sanna natur verkar alltid ha fascinerat människan och det finns skilda uppfattningar och synsätt ända tillbaka till tiden före år noll (i vår västerländska kristna tideräkning). Under 1600-talet återfinns en debatt om ljuset ska ses som en våg eller en partikel mellan i första hand vågförespråkarna Hooke (1664) och Huygens

² Därför kallades fotoelektriska effekten ursprungligen för Hertz effekten.

³ Kvantisering av atomens energi kan man se som en tillämpning av Plancks originalidé med ljuskvantisering men att ett rörelsemängdsmoment kan vara kvantiserat är förmodligen Bohrs originalidé.

(1690) på ena sidan och partikelförespråkaren Newton (1672) på den andra. Upptäckten av diffraktion i början av 1800-talet (Young, 1802) avgjorde dock tillfälligt frågan genom att ljuset ansågs vara en vågrörelse. Att ljuset även kan ha partikelegenskaper är något som sedan framträdde tydligt i och med Einsteins arbete med att förklara den fotoelektriska effekten (Einstein, 1905a). Namnet foton för denna partikelsyn på elektromagnetisk strålning som Einstein kom med, presenterades för första gången av Gilbert Lewis i ett spekulativt arbete som inte accepterats i annat anseende än för själva namngivningen av fenomenet (Lewis, 1926). Comptons berömda röntgendiffraktionsexperiment (som gav upphov till det senare namngivna fenomenet Comptoneffekt) bekräftade ytterligare det faktum att ljuset har partikelegenskaper (Compton, 1923).

Ett stort och djärvt steg togs av De Broglie (1923) som i sin doktorsavhandling postulerade att på grund av att fotonen har både våg och partikelegenskaper så borde all form av materia uppvisa samma egenskap. Davidsson och Germer (1927) gav ytterligare experimentellt stöd för denna hypotes då de lyckades visa att även elektroner uppvisar vågegenskaper genom ett lyckat diffraktionsexperiment som blivit mycket berömt. De Broglies (1923) hypotes om att materia har vågegenskaper (materievågor) medför att alla partiklar kan tilldelas en våglängd, vilket var ett viktigt steg framåt inom kvantmekaniken. Han föreslog att alla objekt som rör sig med en rörelsemängd (p) har en så kallad De Broglie våglängd (λ) som ges av: $\lambda = h/p$. De Broglie modifierade även i sin doktorsavhandling Bohrs hypotes om stabila planetliknande banor för en elektron i en atom, genom att framföra idén att materievågorna för elektronen är stabila på de avstånd från atomkärnan där den kan forma stående vågor som är ihopkopplade i en slinga.

Andra namn för en materievåg är bland annat sannolikhetsvåg eller vågfunktion⁴. Alla dessa olika namn har att göra med den utveckling av kvantmekaniken som sedan tog fart, främst genom Erwin Schrödinger och Max Born. Schrödinger (1926a, 1926b, 1926c, 1926d) presenterade en vågekvation (den så kallade Schrödingerekvationen) som explicit löser vågfunktionen för en partikel om man känner till den potentiella energin från omgivningen som påverkar partikeln. Schrödingers vågbeskrivning av kvantmekaniken har också visat sig vara matematiskt ekvivalent med Heisenbergs matrisformulering (Heisenberg, 1925). Born (1926) gav en fysikalisk tolkning av vågfunktionen för en partikel. Han hävdade att om man tar beloppet av vågfunktionen och kvadrerade den så får man sannolikheten (eller rättare sagt sannolikhetsdensiteten om vågfunktionen ses som en funktion av position och tid) för var en partikel befinner sig. Dirac (1928) är upphovsmannen till Diracekvationen som är en relativistisk vågekvation för att lösa ut vågfunktionen. Diracekvationen är konsistent med både kvantmekaniken och den speciella relativitetsteorin. En atomorbital definieras som en elektronvågfunktion för en elektron i en atom (Atkins, 1998). En orbital kan avbildas med sannolikhetsdensiteten (vilket i princip är vågfunktionen i kvadrat) och en avgränsande yta som med 90% sannolikhet innesluter elektronens position (Atkins, 1998). Pauli (1925) kom med den mycket viktiga Pauliprincipen (Paulis uteslutningsprincip), vilken säger att två fermioner (partiklar med halvtaligt spinn som exempelvis elektroner, neutroner och protoner) inte kan ha en och samma vågfunktion. Detta är en central princip för att utifrån kvantmekanik förstå uppbyggnaden av det periodiska systemet.

1.1.3 Obestämdbarhetsrelationer och tunnling

Heisenberg (1927) visade med sitt banbrytande arbete på att det existerar en inneboende fysikalisk osäkerhet i naturen (oberoende av hur noggrant man kan mäta) mellan vissa fysikaliska storheter då han från kvantmekaniken härledde en osäkerhetsrelation mellan storheterna rörelsemängd och position. På liknande sätt existerar det även en

⁴ Kallas även kvanttillstånd. Från och med nu används dock som regel vågfunktion i detta examensarbete.

osäkerhetsrelation mellan tid och energi, något som föreslagits av Dirac (1927) från relativistisk kvantmekaniska argument, men som först nästan 20 år senare fick en matematiskt stringent härledning från kvantmekaniken av Mandelshtam och Tamm (1945). Dessa två osäkerhetsrelationer är dock en direkt matematisk följd av komplementära variabler i kvantmekaniken (de har icke kommuterande operatorer⁵) och förutom de två nämnda så existerar även andra osäkerhetsrelationer, till exempel mellan två vinkelräta komponenter av rörelsemängdsmomentet (Liboff, 1992).

Oppenheimer (1928) samt Fowler och Nordheim (1928) publicerade oberoende av varandra kvantmekaniska artiklar som behandlade partikelläckage genom en potentialbarriär (kvantmekanisk tunnling). Samma år publicerade Gamow (1928a, 1928b) samt Gurney och Condon (1928), även de oberoende av varandra, teori om hur kärnor kunde sända ut strålning genom att använda det kvantmekaniska tunnlingsfenomenet. Efter det att Max Born besökt ett av Gamows seminarium insåg han att detta med tunnling är ett generellt kvantmekaniskt fenomen. Born (1929) reproducerade därför Gamows resultat genom att använda en modern och matematiskt korrekt framställning med Hermitiska operatorer och tillstånd med reella egenvärden.

1.2 Didaktisk forskning med anknytning till kvantmekanik och läroböcker

Didaktisk forskning som rör inlärningsaspekter är ett brett forskningsfält där det finns mycket publicerat. Ett betydligt smalare fält är didaktisk forskning som rör läroböcker eller kvantmekanik och ett ännu smalare område är forskning om kvantmekaniska aspekter på läroböcker. Att titta på hur fysikläroböcker framställer de kvantmekaniskt relaterade delarna i den svenska nationella kursplanen i fysik är det, så vitt jag har kunnat se, ingen som tidigare har gjort. I detta avsnitt gör jag ett nedslag i den publicerade didaktiska forskningen som rör kvantmekanik eller läroböcker, men fokus i denna framställning ligger på den forskning som tittat på kombinationen kvantmekanik och läroböcker.

En forskningsöversikt (Review) över inlärningsaspekter från texter i fysik fram till och med 1994 är publicerad av Alexander & Kulikowich (1994). Brincones & Otero (1994) tittar på hur studenter tillgodogör sig texter i fysik. Ett flertal äldre artiklar (Fischler & Lichtfeldt, 1992; Johnston, Crawford & Fletcher, 1998) och nyare publikationer (Ireson, 2000; Chandralekha, 2001; Fletcher, 2004) undersöker hur studenter förstår och tillgodogör sig kvantmekanik. Cuppari, Rinaudo, Robutti & Violino (1997) presenterar ett förslag på ett alternativt sätt att introducera kvantmekanik genom Plancks konstant. I artikeln "Common misconceptions regarding quantum mechanics" (Styer, 1996) behandlar Daniel Styer 15 stycken olika missförstånd och begreppsförvirringar som finns inom kvantmekaniken. Innehållet i hans artikel kommer från egen erfarenhet av undervisning och inläring genom att han varit lärare i ämnet. Artikelns diskussioner ligger på högskole- och universitetsnivå. Hobson (2005) visar på ett alternativt sätt att lära ut kvantmekanik utifrån kvantfältteori; genom att i grunden se både strålning och materia som kontinuerliga fält. Han följer upp detta papper med en diskussion om konsekvenser för våg/partikel-dualiteten (Hobson, 2007).

Då det gäller analys av fysikläroböcker finns en hel del och ett urval presenteras här. Sawicki (1996) kritiserar hur nio fysikläroböcker presenterade Newtons lagar och relativistisk massa. Gardner (1999) har analyserat hur fem Kanadensiska fysikläroböcker tar upp relationen mellan teknik och vetenskap och hans slutsatser är att det överlag ges en positiv bild av vetenskapens betydelse för teknikutvecklingen. Wilkinson (1999) tittar på hur innehållet har förändrats i fysikläromedel från 1967 till 1997. Swartz (1999) och medarbetare har analyserat innehållet i ett antal fysikböcker på High School nivå. De kom inte fram till att någon var självklart bättre än någon annan, utan olika böcker är lämpliga för olika

⁵ Varje observabel (d.v.s. fysikalisk storhet som kan observeras) har en kvantmekanisk operator kopplad till sig. Dessa operatorer är på matematiskt språk hermitiska.

elevgrupper och undervisningssituationer. Hubisz (2001) har tillsammans med ett flertal personer under två år gått igenom fysikböcker för Middle School med avseende på vetenskaplighet och om materialet presentationsmässigt ligger på rätt nivå. De kom fram till en rad förbättringar som kunde införas i böckerna och som exempelvis hade med illustrationer, figurer, övningsuppgifter, m.m., att göra. Då det gäller artiklar och debattinlägg som rör kvantmekaniska aspekter på läroböcker i naturvetenskap, så finns en hel del som rör kemiläromedel. Gabel (1983) tittar i en kortare undersökning på hur en storsäljande högskolelärobok i kemi utvecklar sitt innehåll under åren 1958 till 1978. De tre ämnen som hon tittar på är: Atomstruktur, bindningar och periodiska systemet. Ruis (1988) skriver ett provokativt debattinlägg där han kritiserar hur kemiläroböcker i allmänhet presenterar kvantmekanik och i synnerhet hur de introducerar kvanttal. Chiappetta et al. (1991a) presenterar en metod att tematisera naturvetenskapliga läroböcker i fyra grupper: *The knowledge of science, the investigate nature of science, science as a way of thinking* och *interaction of science, technology, and society*. Denna metod använder de sedan (Chiappetta et al., 1991b) för att beskriva sju stycken high school kemiläroböcker. Shiland (1995) klassificerar kvantmekaniskt innehåll för fem stycken high school kemiläroböcker och tittar på tillämpningar eller förklaringar som böckerna presenterar utifrån kvantmekanisk teori. Shiland (1997) analyserar också sex stycken high school kemiläroböcker, där han tittar närmare på hur dessa böcker behandlar den konceptuella förändringen från Bohrs atommodell till en mer kvantmekaniskt riktig atommodell. Han beskriver den konceptuella förändringen genom att dela upp den i fyra olika undergrupper (*dissatisfaction, intelligibility, plausibility* och *fruitfulness*) och valet av denna uppdelning kommer från en modell att analysera konceptförändring som presenterats av Posner, Strike, Hewson, and Gertzog (1982).

Slutligen då det gäller svenska styrdokument i fysik så har Almén (2001) i ett examensarbete vid Linköpings universitet undersökt hur läroplaner och kursplaner i fysik på högstadiet har förändrats från 1962 till och med 2000. Hans slutsatser är att ansvaret för elevens utveckling allt mer skjuts på hemmet och den enskilda eleven samt att större och större vikt läggs vid förmågan att kommunicera sin kunskap. Friheten i att lägga upp undervisningen har också ökat då kursplanerna blir mer och mer kortfattade, men huvudmomenten i innehållet har i stort sett varit oförändrat.

1.3 Kvantmekanik i kursplanen för Fysik B i gymnasieskolan

I den senaste lydelsen av Skolverkets föreskrifter om kursplanen och betygskriterier för kurser i ämnet fysik i gymnasieskolan och inom gymnasial vuxenutbildning (SKOLFS 2000:49) återfinns både strävansmål (förmågor och kunskap som skolan i sin fysikundervisning ska sträva efter att eleven utvecklar) och uppnåendemål (de mål som elevens skall ha uppfyllt efter avslutad kurs). Strävansmålen är inte direkt kopplat till något speciellt område inom fysiken utan de gäller generellt över hela fysikfältet. Strävansmålen återkommer dock som ett underlag för betygskriterierna Godkänt, Väl godkänt och Mycket väl godkänt. Konkreta mål kopplade till specifika delar inom fysiken återfinns inom uppnåendemålen, vilka givetvis skiljer sig åt beroende på vilken kurs som avses. Uppnåendemålen för den nationella kursplanen för Fysik B i gymnasieskolan är:

Mål som eleverna skall ha uppnått efter avslutad kurs

Eleven skall

ha utvecklat sin förmåga att planera och genomföra experimentella undersökningar samt muntligt och skriftligt redovisa och tolka resultaten (1)

kunna beskriva och analysera samt matematiskt behandla fysikaliska problemställningar med hjälp av adekvata storheter, begrepp och modeller (2)

ha fördjupad kunskap om begreppen kraft, massa, arbete, energi och rörelsemängd samt en förmåga att använda dessa begrepp (3)

ha kunskap om elektriska och magnetiska fält, induktion, mekaniska och elektromagnetiska vågor och deras egenskaper samt kunna beskriva några tillämpningar inom dessa områden (4)

ha kunskap om atomers struktur, samband mellan energinivåer och atomspektra samt ha kännedom om fotonbegreppet (5)

ha kunskap om joniserande strålning, radioaktivt sönderfall, fission och fusion samt kunna använda massa – energiekvivalensen för att göra beräkningar inom kärnfysiken (6)

känna till huvuddragen i universums storskaliga utveckling (7)

kunna beskriva och analysera några vardagliga, medicinska och tekniska tillämpningar med hjälp av fysikaliska begrepp och modeller (8)

kunna diskutera miljöfrågor och etiska frågor med anknytning till fysiken. (9)

Siffrorna inom parantes efter varje mening motsvarar en numrering av målen som eleven skall ha uppnått för hela Fysik B kursen. Ett mål är de meningar som börjar med ”Eleven skall ha ..”, ”Eleven skall kunna ..” eller ”Eleven skall känna till ..” Mål (1) och (2) är övergripliga och berör förmågorna: Planera, genomföra, redovisa, tolka, beskriva, analysera och matematiskt behandla. Mål (3) till och med (6) beskriver områden inom fysiken. Utgående från Skolverkets egen beskrivning av vilka områden de anser ingår i kursen Fysik B (SKOLFBS 2000:49), kan dessa mål kopplas till följande fysikområden:

(3): Mekanik⁶.

(4): Elektromagnetism⁶.

(5): Atomfysik.

(6): Kärnfysik.

Mål (7) behandlas i huvudsak genom att tillämpa teorier från kosmologi, astrofysik och relativitetsteori. Medan (8) och (9) är i princip helt områdesöverskridande inom fysiken och även ämnesöverskridande i förhållande till andra skolämnen såsom exempelvis kemi och biologi. Inom område (5) och (6) kommer kvantmekaniska beskrivningar in, men om man tittar närmare på vilka delar som ingår i kursplanens formulering av område (6) för Fysik B så klarar man sig bra med en framställning utan att blanda in kvantmekanik. Det som återstår som intressant för detta examensarbete är mål (5) som renodlat behandlar kvantmekaniska fenomen.

1.4 Syfte och frågeställningar

Syftet med denna studie är att undersöka och beskriva på vilket sätt fem gymnasieläroböcker i fysik B tar upp delar inom fysiken med kvantmekanisk anknytning som står skrivna om i kursplanen för fysik B i gymnasieskolan.

För att uppfylla syftet analyseras och besvaras fyra stycken frågeställningar i detta arbete. Frågeställningarna är:

1. Hur presenteras de kvantmekaniska delarna i kursplanen (för fysik B) utifrån de kvantitativa parametrarna: Sidomfång, antal övningsuppgifter och antal exempel?
2. Hur väljer författarna att lägga upp och beskriva de kvantmekaniska delarna i kursplanen?
3. Vilka fakta framkommer om de kvantmekaniska delarna i kursplanen?
4. Skapar läroböckerna förutsättningar för att uppfylla de kvantmekaniskt relaterade målen i kursplanen?

⁶ Skolverket avser Klassisk mekanik och Klassisk elektromagnetism, vilket kan ses i kriterierna för (3) och (4).

2 Metod

Jag har valt att göra en textanalys av fem gymnasieläroböcker i fysik B. Vilka de är och hur de valdes finns beskrivna i avsnitt 2.1. En klassificering av den nationella kursplanens mål i fysik B för gymnasieskolan i fysikområden gjordes i inledningen varvid mål med kvantmekanisk anknytning identifierades. Avsnitt 2.2 urskiljer och definierar de delar (av mål från kursplanen) som tillhör det kvantmekaniska området. Avslutningsvis preciserar jag i avsnitt 2.3 den tematiska metod jag använder för textanalysen.

2.1 Urval av fysikgymnasieböcker

De fysikgymnasieläroböcker som analyseras är från fyra stora förlag: Liber AB, Gleerups Utbildning AB, Natur och Kultur och Studentlitteratur AB. Urvalet föregicks av en sökning på Internet över populära svenska gymnasieläroböcker fysik. Därefter kontaktade jag förlagen och presenterade min idé och om de ville skicka mig läroböcker i fysik B för gymnasieskolan (av senaste upplagan). Alla fyra förlag som kontaktades skickade böcker och totalt fem stycken läroböcker anlände. En sökning på en stor onlinebokshop (som hävdar att de är Nordens största bokshop) bekräftar också att dessa fem fysikläroböcker i stort sett är de som de har i lager för gymnasieskolans fysik B-kurs. De fem gymnasieläroböckerna i fysik B är:

- Ergo fysik. Kurs B (Pålgård et al., 2005).
- Heureka! Fysik för gymnasieskolan. Kurs B (Bergström et al., 2005).
- NeXus. Fysik B (Gottfridsson et al., 2004).
- Orbit. Fysik B (Jakobsson & Johansson, 2005).
- Quanta. Fysik B (Ekstig & Boström, 2004).

2.2 Uppdelning i kvantmekaniska områden utifrån kursplanen

I avsnitt 1.3 avgränsas målen från gymnasieskolans kursplan för fysik kurs B som har kvantmekanisk anknytning till att vara:

Eleven skall ha kunskap om atomers struktur, samband mellan energinivåer och atomspektra samt ha kännedom om fotonbegreppet.

Den starkare formuleringen i kursplanen att ”eleven skall ha kunskap om” gäller två aspekter av detta mål: *Atomers struktur*, samt: *Samband mellan energinivåer och atomspektra*. Den svagare formuleringen ”Eleven skall ha kännedom om” gäller den tredje aspekten; *fotonbegreppet*. Metoden för textanalysen bygger på dessa aspekter genom definitionen av tre kursplaneförankrade kvantmekaniska delar (KKMD), vilka är:

- *Atomers struktur*
- *Samband mellan energinivåer och atomspektra*
- *Fotonen*

Det kvantmekaniska innehållet i dessa tre delar finns indirekt beskrivet i avsnitt 1.1, men jag gör här en sammanfattande beskrivning av vad de innehåller i detta avsnitt. Det bör dock påpekas att dessa områden är delvis överlappande och därför blir denna redogörelse samtidigt en definition av vad som ingår i dessa områden. Detta betyder inte att det är den enda möjliga definitionen av vad som kan ingå i dessa områden utan detta är vad som gäller i detta arbete.

För de läsare som vill läsa om kvantmekanik på ett mer formellt sätt rekommenderas att läsa någon grundläggande universitetslärobok i kvantmekanik (Liboff, 1992; Townsend, 2000). Innan förtydligandet av KKMD (avsnitt 2.2.1-2.2.3) vill jag bara kortfattat redogöra för hur det resterande examensarbetet är upplagt: Systematiskt för varje KKMD och lärobok presenteras analysresultaten som löptext i resultatdelen (avsnitt 3) utifrån de tre utredande frågeställningarna 1 till och med 3 i avsnitt 1.4. Resultaten från dessa tre frågeställningar diskuteras i diskussionsdelen (avsnitt 4). Den avslutande frågan (fråga 4 i avsnitt 1.4)

behandlas också i diskussionsdelen tillsammans med en diskussion om vilka implikationer detta arbete kan ha för skolundervisning.

2.2.1 Atomers struktur

Inom detta område ryms alla beskrivningar som rör hur atomer byggs upp förutom de delar som rör kärnfysik (det vill säga specifikt material som berör atomkärnans uppbyggnad). Även de delar som direkt beskriver elektronernas energi, energinivåer eller joniseringsenergi definieras inte tillhöra detta område utan jag har valt att de ska tillhöra ”Samband mellan energinivåer och atomspektra”. Detta medför att det är främst atomens uppbyggnad med atomkärna och omgivande elektroner som berörs. Den historiska framställningen angående detta fenomen är i avsnitt 1.1 på inget sätt komplett utan det skulle säkert kunna skrivas flera böcker om ämnet för att få en någorlunda komplett historisk beskrivning. Det som kan skrivas är dock att i den västerländskt förankrade vetenskapstraditionen är det inte ovanligt med att man brukar börja framställningen i det antika grekland med tänkare som exempelvis Demokritos som var upphovsman till namnet atom och hävdade att den är odelbar. Framställning fortsätter sedan med varierade antal historiska nedslag ända fram till Bohrs atommodell (Bohr, 1913) och vidare till en mer modern kvantmekanisk framställning baserad på vågfunktioner (De Broglie, 1923) och lösningar till Schrödingers (eller Diracs) vågekvation (Schrödinger, 1926a, 1926b, 1926c, 1926d; Dirac, 1928), vilket medför en obestämbar beskrivning av elektronernas position (Atkins, 1998; Liboff, 1992; Townsend, 2000).

2.2.2 Samband mellan energinivåer och atomspektra

Trots att man från den moderna kvantmekaniken inte kan precisera elektroners position i en atom så får man diskreta och precisa energinivåer för elektronerna (Atkins, 1998; Liboff, 1992; Townsend, 2000), något som även Bohrs atommodell förutsäger. Inom detta område studeras allt material som berör atomens elektroniska energinivåer (det vill säga elektronernas energinivåer i en atom). Även det nära förknippade begreppet joniseringsenergi antas tillhöra detta område. I analysen läggs framförallt fokus på växelverkan med fotoner genom absorption och emission, vilket ger atomspektra, och de tillämpningar som är knutna till detta fenomen.

2.2.3 Fotonen

I kursplanen så skriver de ”fotonbegreppet”. Ordet begrepp betyder enligt Svenska akademins ordbok (2007) bland annat: Omfattning eller omfång. Jag tycker därför att jag för enkelhets skull kan kalla denna del ”fotonen” istället för ”fotonbegreppet” på grund av att andemeningen med ”begrepp” kommer fram i analysen därför att jag tittar på i vilken omfattning och på vilket sätt fotonen introduceras och beskrivs. En foton är att man ser den elektromagnetiska strålningen som en partikel istället för en våg. Att behandla den elektromagnetiska strålningen som en vågrörelse är den klassiska bilden och ofta det sätt som man först tar upp fenomenet i läroböcker, vilket är konsistent med den historiska utvecklingen (se avsnitt 1.1.2). För vissa framställningar inom fysiken är det dock inte avgörande för förståelsen om man ser den elektromagnetiska strålningen som partiklar eller vågor. För att tydligt avgränsa mig och samtidigt definiera denna kategori tar jag in de delar i läroböcker som explicit behandlar den elektromagnetiska strålningens partikelegenskaper och de delar där själva ordet foton explicit förekommer.

2.3 Metod för läroboksanalysen

Den didaktiska vetenskapliga metoden i detta arbete är textanalys. Johansson & Svedner (2006) poängterar att det är viktigt att man hänger upp sin textanalys utifrån någon typ av kategorisering eller systematisering, till exempel teman eller kategorier. Detta bör man göra för att undvika att textanalys reduceras till ett refererande av innehållet i böckerna. För att uppfylla detta kriterium har jag identifierat tre kategorier med förankring i kursplanen för fysik B (KKMD). Min metod är sedan, att systematiskt utifrån dessa KKMD göra en textanalys av läroböckerna. Målet med min textanalys är att titta på hur KKMD implementeras och beskrivs i läroböckerna. Textanalys har ett tydligt fokus att sträva mot att förklara frågeställningarna 1, 2 och 3 (se avsnitt 1.4). Dessa kan konkretiseras ytterligare genom följande formuleringar:

- Hur presenteras KKMD utifrån sidomfång, antal övningsuppgifter och antal exempel?
- Hur väljer författarna att lägga upp och beskriva KKMD?
- Vilka fakta framkommer om KKMD?

Textanalysen belyser var för sig, både kvalitativt och kvantitativt, de olika KKMD lite närmare och en sammanfattning av resultaten återfinns som bilaga 1-5 (en bilaga för varje läromedel). I resultatkapitlet görs en mer omfattande kronologisk textanalys av kvalitativa aspekter av KKMD för varje lärobok. De kvalitativa aspekterna som avses är dels på vilket sätt böckerna presenterar fysik ur ett vetenskapshistoriskt perspektiv och dels hur de motiverar teoretiska avsnitt och verifierar eller motiverar experimentella resultat. Sist men inte minst så presenteras också de tillämpningar som finns beskrivna i texten.

En sammanfattning av resultaten från den kvalitativa analysen presenteras på de fyra första raderna (och de tre kolumnerna) i varje resultatmatris i bilaga 1-5. Dessa fyra rader behandlar i tur och ordning:

1. **Historisk presentation?** Här besvaras frågan om det finns historiska återblickar till personer och upptäckter (JA/NEJ) med relevans för KKMD. Anledningen till att analys av hur läroböckerna gör sin presentation utifrån en historiska kontext är dels för att läroböckerna lägger ganska stor vikt vid att historiskt förankra teori och experiment och dels för att en sådan här analys underlättar att identifiera vilka motiveringar och verifieringar (nästa rad i resultatmatrisen) som ligger till grund för KKMD. I matriselementhänvisningen (se förklaringen nedan) finns sedan en kronologisk sammanfattning av de historiska referenser och återblickar som ges i texten. Fenomen som i läroboken behandlas utan någon som helst historisk dokumentation eller konkreta angivelser av historiska personer, anses inte uppfylla kriterierna att hamna i denna kategori.
2. **Motivering och verifiering?** Här ges svar på frågan om (JA/NEJ) och på vilket sätt som KKMD:s giltighet argumenteras för genom exempelvis teoretiskt motivering eller experimentell verifiering.
3. **Tillämpningar?** Här besvaras (JA/NEJ) om det finns tillämpningar beskrivna i löptexten, det vill säga då vi räknat bort de i tillämpningar som i läroboken enbart framkommer i övningsuppgifter av olika slag. Dessa tillämpningar listas sedan i den matriselementhänvisning som finns.
4. **Kommentarer?** Här besvaras frågan om det finns kritik (JA/NEJ) från mig över lärobokens framställning. Här sammanfattas också den främsta kritiken mot framställningen. En fullständig kritik av läroböckerna görs i diskussionsdelen.

Varje matriselement i den 4 gånger 3 stora delmatrisen som vi tittar på har även en matriselementhänvisning $[r:k]$ där r anger radnummer och k kolumnnummer. Längre ner (under tabellen) återfinns sedan de matriselementet med en sammanställning av de förtydliganden och den fördjupande beskrivning som tillhör resultaten i rad 1-4. Rad 5-9 sammanfattar de kvantitativa aspekterna av läroboksanalysen. Rad 5 och 6 anger antal sidor

respektive andel sidor i procent, som beskriver aktuell KKMD. På liknande sätt beskriver rad 7 och 8 antal och andel övningsuppgifter. Det totala antal övningsuppgifter i en bok är en sammanräkning av alla övningsuppgifter som finns i boken. Rad 9 anger antal numrerade exempel som ska visa på hur man räknar eller på en djupare förståelse av ett fenomen.

Jag väljer att i resultattexten inte skriva någon utförlig redogörelse av de kvantitativa aspekterna (rad 5-9 i bilaga 1-5) på grund av att det bara blir en onödig upprepning av det som redan finns sammanfattat i bilagorna. Däremot finns andel sidor och andel övningsuppgifter i en tabell då resultaten sammanfattas i avsnitt 3.6. Slutligen vill jag bara påpeka en sak; referenshänvisningarna i resultatdelen ska enbart ses som service för läsaren av detta examensarbete och betyder generellt sett inte att de analyserade läroböckerna har en referens till historiska originalarbeten.

3 Resultat

Här skrivs på vilket sätt varje lärobok tar upp de tre KKMD. Fokus ligger på de kvalitativa aspekterna: *Historisk presentation, teoretisk motivering och experimentell verifiering*, samt: *Tillämpningar beskrivna i texten*. En beskrivning av dessa finns i metoddelen. I bilaga 1-5 finns en sammanfattning av dessa kvalitativa aspekter samt en fullständig redogörelse över de kvantitativa aspekter som analyserats.

3.1 Ergo Fysik B

3.1.1 Atomers struktur

Ergo Fysik B börjar sin redogörelse ändå från antika Grekland (för ungefär 2500 år sedan) med Demokritos funderingar runt en minsta beståndsdel; en atom (s. 65-66). Efter en snabb avverkan av några antika tänkare diskuteras Robert Boyles arbete med grundämnen (Birch, 1744) samt John Daltons tankar att ämnen antingen är grundämnen eller kemiska föreningar (Dalton, 1805). Mendeleev (1869, 1871) omnämns sedan som upphovsman till det periodiska systemet och Thomson (1897) som elektronens upptäckare (s. 66-67). Ett eget delkapitel tillägnas Rutherford atommodell (Rutherford, 1911) som påvisade en förhållandevis liten atomkärna omgiven av till största delen tomt rum (s. 68-70). Slutligen landar framställningen vid Bohrs atommodell (Bohr, 1913) och där slutar framställningen av atomers struktur; ingen modern kvantmekanisk framställning av atomers struktur finns. På sidan 79 finns dock några meningar där problem för teorin för flerелеktronatomer påtalas och en hänvisning till kvantteori i kapitel 11. I kapitel 11 finns dock ingen diskussion om flerелеktronatomer.

3.1.2 Samband mellan energinivåer och atomspektra

Första gången som detta med atomspektra omnämns i texten (s. 70) är genom att skriva om den tyske optikern Joseph Fraunhofer som år 1814 bestämde våglängden för Frunhoferlinjerna i solspektrat (Fraunhofer, 1817). Robert Bunsen och Gustav Kirchhoff tillskrivs sedan som spektroskopets uppfinnare samt upptäckten att olika ämnen i gasform kan utsända ett emissionsspektrum (Kirchhoff & Bunsen, 1860). En introduktion följer om emissions- och absorptionsspektrum och grundämnen. Den avslutas med att Balmer-serien (Balmer, 1885) presenteras tillsammans med Rydbergs formel (Rydberg, 1890). Nu gör framställningen en liten paus och återkommer på sidan 74, i samband med att Bohrs atommodell presenteras. I boken formuleras Bohrs postulat ungefär så här: 1) En atom kan ha stabila tillstånd med bestämd energi, och: 2) Vid en övergång från högre till lägre energinivå emitteras en foton (här finns även kvanthypotesen matematiskt formulerad). Dessa två postulat används som teoretisk grund för sambandet mellan energinivåer och ett atomspektrum för alla atomer (s. 74-76, 79). En formulering av väteatomens energinivåer och den matematiska kopplingen till väteatomens spektrum finns också med. Boken har som redan påpekats ingen kvantmekanisk beskrivning av atomen. Bohrs atommodell utgör därför bokens enda teoretisk grund för samband mellan energinivåer och atomspektra. Ergo har en relativt omfattande matematisk och teoretisk presentation av energinivåer i väteatomen (s. 76-79). Slutligen definieras och diskuteras vad emissions- och absorptionsspektrum från atomer är för någonting och luminiscens (ljusemission vid låg temperatur) behandlas.

Två typer av röntgenstrålning (Röntgen, 1895, 1896) diskuteras; bromsstrålning och karakteristisk strålning (s. 92-93). Bromsstrålningen förklaras klassiskt som uppkommen från hastighetsändring för laddad elektron genom inbromsning. Den karakteristiska röntgenstrålningen förklaras av att en elektron (som blivit accelererad i ett röntgenrör) kolliderar med en atom och en elektron närmast kärnan lyfts till en högre energinivå. Röntgenfoton uppstår när atomen spontant deexciteras.

3.1.3 Fotonen

Fotonen omnämns först genom kvanthypotesen (Planck, 1900) och Einsteins fotonantagande som möjliggjorde en teoretiska förklaring av den fotoelektriska effekten (Einstein, 1905a). Röntgenstrålningen har givits ett eget avsnitt (s. 90-93) och beskrivs bland annat som fotoner med mycket stor energi och har en god förmåga att tränga igenom ämnen, vilket används vid röntgenfotografering. Även röntgendiffraktion ges en kortfattad beskrivning. Förutom detta omnämns fotonen i en rad sammanhang i kapitel 11 (s. 387-392). Här omnämns ytterligare tillämpningar för fotonen, vilka är: Fotoner bildas från annihilering av partikel och antipartikel, Comptonspridning (Compton, 1923), parbildning (det vill säga en foton försvinner och ger ett partikel-antipartikel-par).

3.2 Heureka Fysik B

3.2.1 Atomers struktur:

Den historiska tillbakablicken börjar med Browns undersökningar (Brown, 1827), där han som botanist såg slumpmässiga rörelseriktningsförändringar (så kallad Brownsk rörelse) för partiklar i vatten (s. 304). Heureka tillskriver Einstein (1905b) den första mikroskopiska förklaringsmodellen; i detta specifika fall har det att göra med krockar mellan partiklarna och vattenmolekylerna. I nästa stycke står att Thomson upptäckte elektronen 1897 och att Rutherford upptäckte en liten positiv atomkärna. Några sidor senare (s. 308) omnämns Bohrs atommodell och ytterst kortfattat står det att enligt den så är elektronen bara tillåten att befinna sig på vissa bestämda banor. Ytterligare några sidor senare (s. 314) står det om begränsningarna med Bohrs och Rutherfords atommodeller. Två brister påtalas:

- 1) Det finns inget som förklarar varför endast vissa elektronbanor är tillåtna;
- 2) Om de laddade elektronerna cirkulerar runt så borde de direkt sända ut elektromagnetisk strålning, förlora energi och kollapsa in i kärnan.

För att komma tillrätta med dessa problem postulerar Heureka att elektronerna har vågegenskaper som kan beskrivas med en vågfunktion (De Broglie, 1923), vilka kan beräknas med Schrödingerekvationen (Schrödinger, 1926a, 1926b, 1926c, 1926d). Framställningen utvecklas sedan med att beskriva elektronernas uppbyggnad med fyra kvanttal och slutligen presenteras Pauliprincipen (Pauli, 1925) och grunderna för periodiska systemet. De möjliga numeriska värden som kan tilldelas varje kvanttal redovisas i boken liksom en beskrivning av elektronvågfunktionens sannolikhetsfördelningar, vilka förklaras som de områden där det är mest sannolikt att "finna" elektronen. Några sannolikhetsfördelningar åskådliggörs grafiskt i en figur. För spinnkvanttalet skriver Heureka att:

"Det fjärde kvanttalet m , beror på partikelns s k *spinn*, en egenskap som kan liknas vid att partikeln roterar." (s. 317)

3.2.2 Samband mellan energinivåer och atomspektra

Fenomenet att atomer sänder ut ljus introduceras genom att skriva om urladdningsrör och tre olika typer av emissionspektrum; linjespektrum från enatomig gas, bandspektrum från fleratomig gas och kontinuerligt spektrum från ett upphettat fast ämne. Den teoretiska och historiska motiveringen för atomspektra är Bohrs atommodell (s. 308-310), där väteatomens energinivåer och relationen till fotonen behandlas separat och matematiskt. Medeltiden för hur länge en atom stannar i ett elektroniskt exciterat tillstånd (elektron befinner sig på en högre energinivå) anges vara 10^{-7} sekunder, och vid återgången sänder atomen ut en foton med energi som motsvarar energiminskningen. Partikelbombardemang och värme återges som metoder för elektronisk excitation (s. 310-311). Fotonabsorption och absorptionsspektra beskrivs (s. 312-314). Det finns också i texten en mening med en kvantmekanisk motivering för energinivåer i atomer:

”Med hjälp av kvantmekanik kan man beskriva atomernas egenskaper och beräkna kvantiserade energier ..” (s. 315)

Röntgenstrålning uppstår då atomerna i ett röntgenrör bombarderas av energirika elektroner (s. 321). Dessa elektroner kan lyfta upp en elektron från K-skalet⁷ djupt inne i atomen. När den lediga platsen återbesätts av en elektron sänds en röntgenfoton ut vilket ger en spektrallinje i linjespektrumet. Det kontinuerliga spektrumet härrör från inbromsning av laddade partiklar vilket anges var ytterligare ett skäl till hur röntgenstrålning uppkommer och ges en klassisk förklaring (s. 321-322).

Laserljus genom stimulerad emission avhandlas i boken (s. 324-325). Som konkret exempel tas He-Ne-lasern upp där heliumatomer exciteras genom elektronbombardemang vilka i sin tur exciterar en Neon atom som deexciteras genom stimulerad emission (det vill säga en foton kommer in mot Neon atomen och två fotoner lämnar den).

3.2.3 Fotonen

Fotonen introduceras med kvanthypotesen och Plancks formel för svartkroppsstrålning, samt Einsteins fotonfenomensintroduktion i och med hans förklaring av den fotoelektriska effekten (s. 268-273). Enligt boken existerade en osäkerhet bland dåtidens fysiker angående Einsteins införande av partikelegenskap hos ljuset. I anslutning till detta påstående presenteras Comptonspridning och på nästa sida avhandlas fotonens rörelsemängd (s. 273-274). Ordet foton förekommer då gammastrålning beskrivs (s. 357-358). Heureka har också många olika medicinska och biologiska tillämpningar med koppling till fotonen. Ordet foton används här också här som ekvivalent med elektromagnetisk strålning, vilket inte minst kan ses från det faktum att ordet foton används för energiövergångar för vätekärnans spinn vilket sker i radiofrekvensområdet (s. 386). De medicinska tillämpningar som beskrivs ganska omfattande i texten är: Röntgenfotografering och datortomografi, magnetkameraundersökningar, gammakameraundersökningar och fotonbestrålning av cancerceller. I övrigt nämns annihilering mellan elektron och antielektron ytterst kortfattat och utan att explicit nämna detta namn på fenomenet (s. 398).

3.3 NeXus Fysik B

3.3.1 Atomers struktur

NeXus tar sin utgångspunkt i Thomsons upptäckt av elektronen och en ”russinbullemodell” av atomen (det vill säga att plusladdningen är bullen och russen är elektroner), genom Rutherford's atommodell, fram till Bohrs atommodell (s. 211-212). Även en modern kvantmekanisk modell av en atom presenteras, där elektronens tillstånd beskrivs av fyra kvanttal som begränsas av lösningen till Schrödingerekvationen (s. 215-217). Så här väljer NeXus att introducera sin atommodell med kvanttal, citerat från boken:

”Om atomkärnan innehåller fler protoner behövs fler elektroner för att atomen ska vara neutral. Det visar sig att elektronbanorna kan beskrivs av tre kvanttal n , m_l och l .” (s. 215)
Det fjärde kvanttalet är spinnkvanttalet och de ser spinn i boken som en egenrotation vilket man kan se från följande citat:

”... Elektronen roterar runt atomkärnan. Dessutom roterar de runt sin egen axel vilket ger upphov till ett magnetfält. ...” (s. 121)

”1921 visade Otto Stern och Walter Gerlach att elektroner kan rotera runt sin egen axel, Denna rotation kallas spinn och ger upphov till det fjärde och sista spinnkvanttalet, spinnkvanttalet s .” (s. 215)

I boken redogörs också för de begränsningar som finns för kvanttalens numeriska värden. En tillämpning som man kan läsa att NeXus anser komma från en modern kvantmekanisk

⁷ För K-skalet är huvudkvanttalet (n) lika med 1.

beskrivning av atomers uppbyggnad är att den utifrån Pauliprincipen (och kvanttalen med dess begränsningar) skapar en teoretisk grund för periodiska systemets uppbyggnad.

3.3.2 Samband mellan energinivåer och atomspektra

I boken presenteras Rydbergs formel på sidan 212 följt av Bohrs postulat, där särskilt det första postulatet skiljer sig ganska mycket från Bohrs ursprungliga postulat då Nexus blandar in de Broglievåglängden, något som 1913 inte var definierat. Att Bohr har härlett ett uttryck för energinivåerna i väteatomen påtalas och uttrycket skrivs också ut i boken (utan härledning). Excitation och deexcitation för atomer med hjälp av upptagande och avgivande av fotoner förklaras, vilket också i princip är bokens formulering av Bohrs andra postulat (s. 212-213). En formel för väteatomens energinivåer finns med tillsammans med ett exempel som visar på hur man räknar ut våglängd för foton som växelverkar med en väteatom (s. 213-214). Ordet energinivå används aldrig i den kvantmekaniska beskrivningen av atomers struktur (s. 215-217). Bohrs atommodell utgör därför den enda teoretiska motiveringen till förståelsen av energinivåer och atomspektra.

Två experimentella metoder (flamemission och atomabsorption) beskrivs, vilket samtidigt utgör bokens förklaringar av emissions- och absorptionspektrum för atomer (s. 218-219). En förenklad förklaring av växthuseffekten finns på sidan 220. För att förklara växthuseffekten skriver författarna att det infraröda ljuset från jorden absorberas i atmosfären och längre ner på sidan skriver de, citerat från läroboken, att:

”Det visar sig att det finns många molekyler som har energinivåer som passar för att absorbera ljus av dessa våglängder”. (s. 220)

Det står ingenting på sidan om vilken typ av absorbering som molekylerna gör.

Avslutningsvis, då författarna förklarar hur röntgenstrålningen uppstår förklaras det karaktäristiska spektrumet utifrån elektroner som exciterar atomer i en figurtext, i löptexten står ingenting om detta.

3.3.3 Fotonen

Den historiska introduktionen av fotonbegreppet sker genom kvanthypotesen och Einsteins förklaring av den fotoelektriska effekten. De motiveringar som finns för fotonen är att kvanthypotesen förklarar sambandet mellan strålning och temperatur och även är ett grundantagande för förklaring av den fotoelektriska effekten. Även Comptoneffekten som beskrivs (s. 200) visar på att fotonen måste ha partikelegenskaper. De tillämpningar som anges för fotonen är: Fotoelektrisk effekt, Comptonspridning, parbildning (foton ger en elektron och en positron), och annihilering (en partikel och antipartikel förintas och bildar fotoner). Sist men inte minst nämns också röntgenundersökningar som en viktig tillämpning i och med att röntgenstrålning avhandlas (s. 203-206).

3.4 Orbit Fysik B

3.4.1 Atomers struktur

Introduktionen av atomers struktur i läroboken sker i förbigående (s. 212) mitt i ett avsnitt som avhandlar material som jag kategoriserat tillhöra: Sambandet mellan energinivåer och atomspektra (s. 211-215). Där skrivs att atomer består av en positiv kärna med protoner och neutroner och de negativa elektronerna finns utanför kärnan i bestämda skal. Ingen beskrivning av atommodeller som fanns före år 1913 finns med i boken. Orbit skriver sedan att Bohrs arbete från 1913 anger grunden för hur en atom är uppbyggd, med stationära elektronbanor med bestämda energier. Att Bohrs modell inte förklarar varför vissa banor är tillåtna ses som ett problem och problemet ges en möjlig förklaring genom de Broglies vågfunktionspostulat (s. 215). På nästa sida beskrivs elektronens position i atomen genom att presentera en kvantmekanisk modell (s. 216-217). Heisenbergs obestämdbarhetsrelation

(Heisenberg, 1927) tas upp för att ge läsaren en bild av osäkerheten i elektronens position. Begreppet orbitaler (elektronmoln), förklaras som det område kring kärnan där det är sannolikt att elektronen befinner sig och grafiska figurer presenteras för att åskådliggöra detta (s. 217). Den kvantmekaniska modellen utvecklas sedan (s. 225-229) och författarna skriver att Schrödingerekvationen behövs för att beskriva energitillstånden i atomen (s. 225). Vidare så skriver de att om man löser Schrödingerekvationen för väteatomen så får man fyra kvanttal. Dessa 4 kvanttal förklaras och beskrivs, och kopplingar mellan det azimutala kvanttalets heltalsvärden och olika orbitaler anges. För att förklara spinnkvanttalet skriver de så här:

”.. anger om elektronen spinner runt sin axel med samma rotationsriktning som elektronen har runt kärnan eller inte.” (s. 225)

Detta är den enda konkreta bild som boken har för att visualisera spinnfenomen. En presentation av Pauliprincipen följs av en fördjupad redogörelse av kvanttalens möjliga diskreta värden utifrån begränsningsregler. Det hela mynnar ut i en förklaring av det periodiska systemets uppbyggnad.

3.4.2 Samband mellan energinivåer och atomspektra

Atomspektra introduceras genom att skriva om diskreta linjespektrum från kvicksilverlampor (s. 211). Bohrs postulat (vilka i boken beskrivs som bestämda elektroniska energinivåer och att atomen kan absorbera eller emittera en foton) används som ett teoretiskt fundament för att förklara elektroniska energiövergångar i alla atomer och dess växelverkan med fotoner (s. 212). Utifrån Bohrs arbete presenteras en matematisk redogörelse för väteatomens energinivåer och vätespektrumet. Efter detta återkopplas det till Rydbergs formel från slutet av 1800-talet (s. 215). På nästa sida påpekas att Bohrs beräkningar bara kan genomföras för väteatomen, redan för Helium blir beräkningarna oerhört komplicerade. Författarna skriver att Bohrs beräkningar bara kan användas för att väte, men att Bohrs postulat även gäller för den kvantmekaniska modellen av en atom (s. 217). Utifrån detta konstaterande avhandlas ljusemission (s. 218-220) och ljusabsorption (s. 221-222).

Röntgenstrålning antas kunna produceras genom att bombardera ett tungt grundämne med elektroner. Dessa elektroner kan då slå ut elektroner som finns i K-skalet (allra närmast kärnan) och då elektron från en högre energinivå (ett annat skal) faller ner till den lediga lägre energinivån, sänds en röntgenfoton ut och ger ett karaktäristiskt linjespektrum (s. 222-224). Det kontinuerliga spektrumet härrör från bromsstrålningen och förklaras inte närmare i texten.

För att beskriva energitillstånden för en atom i en kvantmekanisk modell, använder man sig av Schrödingerekvationen (s. 225). Angående detta skriver författarna att:

”Om man löser den [Schrödingerekvationen] för väteatomen visar det sig att man får fyra så kallade kvanttal och att dessa bestämmer atomens totala energi.” (s. 225)

I boken behandlas också laserljus genom stimulerad emission (s. 234-236).

Utgångspunkten är He-Ne-lasern upp där heliumatomer exciteras genom bombardemang av elektroner vilka i sin tur exciterar en Neon atom som deexciteras genom stimulerad emission.

3.4.3 Fotonen

Plancks kvanthypotes introduceras i och med att presentationen av Plancks strålningslag (s. 193-194) och den förklaras några sidor senare (s. 208). Youngs diffraktionsexperiment (Young, 1802), vilket verifierade att ljus var en vågrörelse, används som utgångspunkt för att visa på Einsteins nytänkande fotonantagande i och med förklaringen av fotoelektriska effekt (s. 206-207). Efter att fotonens massa och rörelsemängd avhandlats, presenteras på sidan 210 fyra stycken tillämpningar för fotonen: Comptoneffekt, parbildning, annihilation och strålningstryck. Foton används också på sidan 232 som ekvivalent med elektromagnetisk strålning för laserljus. De tillämpningar för laser som i huvudsak nämns är inom informationsteknologi (exempelvis som avläsare för streckkoder och cd-skivor eller för telekommunikation i optiska fibrer), som laserknivar vid medicinska operationer och som

hologram. Övriga fenomen där fotonen omnämns är i samband med joniserad strålning (s. 256-257), gammastrålning (s. 273-274) samt i avsnittet: Skydd mot strålning (s. 295-298). De tillämpningar som nämns i samband med dessa fenomen är gammafotonräkning med GM-rör samt papperstjockleksmätning genom gammafotonabsorption.

3.5 Quanta Fysik B

3.5.1 Atomers struktur

Den historiska presentationen börjar med att Demokritos myntade begreppet atom för att sedan påtala 1800-talsupptäckterna: Radioaktivitet och elektronen. Efter en kort redogörelse av Rutherford's atommodell följer ett avsnitt om planetmodellen där elektronens rörelse runt atomkärnan liksom planetbanor diskuteras och Bohrs atommodell presenteras. Men, på sidan 175 problematiseras planetframställningen med att de Broglievåglängden introduceras vid beräkningar av elektronens radie från kärnan. En kvantmekanisk beskrivning återfinns sedan (s. 180-183) där de fyra kvanttalen introduceras med följande mening:

”Lösningen av Schrödingerekvationen ger tre kvanttal n , l och m_l .” (s. 181)

Om spinnkvanttalet skriver Quanta att:

”Utöver l - och m -kvanttalen behövs ett fjärde kvanttal för att få en fullständig beskrivning av elektronen. Det här kvanttalet kallas *spinnkvanttalet* och betecknas m_s . Ordet spinn kom av att elektronen tänktes kunna rotera kring en axel ungefär som en snurra.” (s. 181)

I boken vederläggs att elektronen kretsar runt kärnan i bestämda banor men samtidigt presenteras inga explicita bilder eller mer omfattande beskrivningar av möjliga elektronpositioner i en atom. Pauliprincipen tillsammans med kvanttalen, och de begränsningsregler som gäller för dessa, anges som grund för att förklara det periodiska systemets uppbyggnad (s. 181-183). Slutligen beskriver boken valenselektroner och atomradier (s. 183-184).

3.5.2 Samband mellan energinivåer och atomspektra

Den historiska återblicken börjar med presentationen av en schweizisk och två svenska 1800-talsvetenskapsmän: Johann Balmer, Anders Ångström och Janne Rydberg. Quanta väljer också att skriva Balmers formel två gånger (s. 166) på ett matematiskt ekvivalent sätt, som vid en första anblick inte är matematiskt uppenbart. Inför att den andra varianten på Balmers formel presenteras skriver de:

”Rydberg visade att spektra från olika grundämnen består av grupper av linjer vars våglängd kan bestämmas av formler liknande det Balmer funnit. Med Rydbergs sätt att skriva våglängder får Balmers formel följande utseende:” (s. 166)

Bohrs atommodell presenteras och hans postulat antas gälla för alla atomer och inte bara för väte (s. 168-169). Emissions- och absorptionsspektrum avhandlas sedan teoretiskt varvid det hela återkopplas till pratiska observationer genom Fraunhoferlinjer (Fraunhofer, 1817). Hur en helium-neon-laser fungerar förklaras sedan (s. 172-173) utifrån kollisioner (och excitationenergiöverföring) mellan helium- och neonatomer med efterföljande fotonemission av neonatomen. Ytterligare några sidor senare ges en matematiska formulering av väteatomens elektroniska energinivåer utifrån Bohrs atommodell (s. 176). Genom att sedan matematiskt formulera väteatomens excitationenergi och joniseringsenergi och diskutera väteatomens emissionsspektrum så härleds Balmers formel utifrån Bohrs atommodell (s. 177-179).

Då röntgenstrålning avhandlas (s. 186-188) förklaras först bromsstrålning klassiskt utifrån inbromsning av elektronen (vilket ger upphov till ett kontinuerligt spektrum). Den karakteristiska röntgenstrålningen förklaras utifrån att en elektron (som blivit accelererad av en hög spänning) slår ut en elektron i atomens K-skal och detta hål fylls av en elektron från ett högre liggande skal.

3.5.3 Fotonen

Quanta har ett helt kapitel som heter: Fotonen (s. 132-161), vilket innehåller fem delkapitel; strålning, fotoelektrisk effekt, våg eller partikel, sammanfattning och övningar. Allt som tas upp i detta kapitel faller dock inte under vad som i detta examensarbete är definierat som kategorin *Fotonen*. Detta beror på att det i texten explicit måste stå ordet foton eller så ska texten behandla aspekter av den elektromagnetiska strålningens partikelegenskap, för att klassificeras i denna kategori.

Fotonen introduceras indirekt genom Plancks strålningslag (s. 138) som förklarar svartkroppsstrålningen, men det är inte förrän i delkapitlet ”fotoelektrisk effekt” som fotonen som begrepp introduceras. Detta delkapitel börjar med en presentation av Plancks kvanthypotes tillsammans med Einsteins fotonbetraktelse för den elektromagnetiska strålningen. Sedan ges en utförlig beskrivning (s. 144-147) av Einsteins förklaringsmodell av den fotoelektriska effekten. Nästa delkapitel börjar med att diskutera ljusets våg/partikel-dualitet. Läroboksförfattarna hävdar sedan att många fysiker hade svårt att acceptera Einsteins förklaring av den fotoelektriska effekt, men att Comptons experiment (Compton, 1923) på ett tydligt sätt visade på behovet av en partikelmodell för ljuset (s. 149). Diskussioner rörande fotonen avslutas i detta kapitel med en matematisk beskrivning omkring fotonens rörelsemängd (s. 150). Fotonen omnämns som ekvivalent för elektromagnetisk strålning för röntgen och gammastrålning. De tillämpningar som nämns är: Röntgendiffraktion, röntgenundersökningar, datortomografi och scintillationsdetektion av gammastrålning.

3.6 Resultatsammanfattning

Här görs en översiktlig sammanfattning i med text och tabeller av de huvudsakliga kvantitativa och kvalitativa resultaten för läroböckerna. En detaljerad redogörelse av hur läroböckerna väljer att presentera olika delar skrivs ingenting om här, utan detta har redan avhandlats i avsnitt 3.1 till 3.5.

3.6.1 Atomers struktur

Tabell 1: En sammanfattning av de centrala kvantitativa och kvalitativa resultaten över hur: ”Atomers struktur” behandlas i de olika böckerna.

Atomers struktur	Ergo	Heureka	Nexus	Orbit	Quanta
Andel sidor	1,5%	1,1%	1,1%	2,3%	2,1%
Andel övningsuppgifter	1,2%	0,9%	0,2%	0,6%	3,3%
Teorier före 1913?	JA	JA	JA	NEJ	JA
Bohrs atommodell?	JA	JA	JA	JA	JA
Kvantmekanisk beskrivning?	NEJ	JA	JA	JA	JA

Tabell 1 sammanfattar de huvudsakliga resultaten från textanalysen. Andelen text av hela boken (rad 1) varierar från drygt 1% (Ergo och Nexus) till lite drygt 2% (Orbit) och andelen övningsuppgifter varierar mellan 0,2% och 3,3% (rad 2). Orbit som har största andel sidor av hela boken har näst minst andel övningsuppgifter med 0,6%.

Rad 3 behandlar om det finns teorier om atomer presenterade före år 1913, det vill säga året då Bohrs atommodell publicerades. På rad 4 behandlas frågeställningen om Bohrs atommodell finns i boken (vilken den gör i alla böcker) och slutligen visar rad 5 om det finns en kvantmekanisk beskrivning av atomen. Trots att Ergo textmängdsmässigt placerar sig i mitten, så är det den enda textbok som helt saknar en kvantmekanisk beskrivning av atomers struktur (rad 5). Detta medför att den kvantmekaniskt mest avancerade modellen för atomens struktur som explicit presenteras i Ergo är Bohrs atommodell. Orbit saknar en historisk

redogörelse över atommodeller och teorier för perioden före år 1913 då Bohrs atommodell presenterades (rad 3).

Då det gäller hur de fyra kvanttalen introduceras (huvud- och spinnkvanttalet tillsammans med azimutala och magnetiska kvanttalet), väljer alla de fyra läroböckerna med kvantmekanisk beskrivning av atomen (Heureka, Nexus, Orbit och Quanta) att beskriva vilka möjliga värden som de kan anta och hur det periodiska systemet byggs upp från dessa begränsningar och Pauliprincipen. Hälften av dessa (Heureka och Orbit) väljer att explicit åskådliggöra områden utanför kärnan där det är mest sannolikt att elektroner befinner sig. Detta medför att det bara är två av fem fysikböcker som ger en mer detaljerad modern kvantmekanisk beskrivning av elektronernas positioner i en atom.

3.6.2 Sambandet mellan energinivåer och atomspektra

Andel sidor i boken som tar upp sambandet mellan energinivåer och atomspektra har en ganska stor spridning vilket framgår av rad 1 i tabell 2. Nexus har den minst omfattande beskrivningen med under 2% och Orbit och Quanta har runt 4% av bokens text. Andelen övningsuppgifter (rad 2) har en stor spridning från Nexus med dryga 1% till Ergo med 7%.

Tabell 2: En sammanfattning av hur: "Samband mellan energinivåer och atomspektra" behandlas i de olika böckerna.

Energinivåer och atomspektra	Ergo	Heureka	Nexus	Orbit	Quanta
Andel sidor	3,1%	2,7%	1,7%	4,2%	3,9%
Andel övningsuppgifter	5,7%	3,9%	1,2%	4,4%	7,0%
Bohrs postulat som teoretisk grund?	JA	JA	JA	JA	JA
Kvantmekaniks atommodell som teoretisk grund?	NEJ	JA*	NEJ	JA	JA
Beskriver absorptionsspektrum?	JA	JA	JA	JA	JA
Beskriver emissionsspektrum?	JA	JA	JA	JA	JA
Röntgenstrålning förklaras med atomenerginivåer?	JA	JA	JA**	JA	JA

* En enda mening nämner detta.

** Enda förklaringen finns i en figurtext och den är kortfattad.

Rad 3 och 4 behandlar om böckerna använder Bohrs atommodell och en kvantmekanisk atommodell som teoretisk grund för att motivera energinivåer och atomspektra. Rad 5-7 svarar på frågan om böckerna beskriver absorptions och emissionsspektrum samt om den karaktäristiska röntgenstrålningen ges en förklaring utifrån energinivåer i atomer. Alla läroboksförfattare använder Bohrs postulat som grund för att förklara energinivåer och energiövergångar och motivera atomspektra (rad 3). Bohrs atommodell är en semiklassisk modell, där atomens struktur behandlas klassiskt (elektronens position och fart etc.), men trots detta är Bohrs postulat konsistent med den senare utvecklade kvantmekaniska beskrivningen av en atom. I tre av böckerna (Heureka, Orbit och Quanta) står det explicit att Bohrs postulat är konsistent med en modern kvantmekanisk syn på atomen. I Heureka beskrivs detta med en mening medan Orbit och Quanta har en mer omfattande beskrivning (se rad 4). Alla läroboksförfattare, utan undantag, beskriver både absorptions och emissionsspektra (rad 5 och 6) och de ger också en förklaring av röntgenstrålningens karaktäristiska spektrum utifrån elektroniska övergångar i en atom (rad 7). I Nexus återfinns förklaringen i en figurtext i anslutning till en figur som beskriver ett röntgenspektrum.

3.6.3 Fotonen

Rad 1 och 2 i tabell 3 visar på andel sidor och övningsuppgifter i boken som tar upp material med anknytning till fotonen. Alla läroböcker har en sidandel på ungefär 3-4% av bokens totala antal sidor. Andelen övningsuppgifter är ungefär jämnt fördelade på ungefär 2-3% förutom för Quanta som har en andel på ungefär 6%.

Rad 3 och 4 behandlar frågan om Plancks kvanthypotes och Einsteins arbete (1905a) tas upp. Alla läroböcker tar upp Plancks kvanthypotes och Einsteins förklaring av den fotoelektriska effekten som historisk och vetenskaplig grund till att förklara fotonen. Den sista raden (rad 5) tar upp antalet tillämpningar som tas upp i boken i anslutning till att fotonen har omnämnts. Heureka och Orbit har med sina 9 respektive 10 tillämpningar, de av böckerna som beskriver flest fotonrelaterade tillämpningar. En fullständig redogörelse vilka som avses finns i bilaga 1-5.

Tabell 3: En sammanfattning av hur: "Fotonen" behandlas i de olika böckerna.

Fotonen	Ergo	Heureka	Nexus	Orbit	Quanta
Andel sidor	3,5%	3,4%	3,1%	4,2%	3,6%
Andel övningsuppgifter	2,2%	2,8%	2,6%	1,9%	6,2%
Beskrivs Plancks kvanthypotes?	JA	JA	JA	JA	JA
Beskrivs Einsteins förklaring av den fotoelektriska effekten?	JA	JA	JA	JA	JA
Antal tillämpningar i anslutning till att ordet foton omnämns	6	9	5	10	6

4 Diskussion

I detta avsnitt diskuterar jag de resultat jag fått i min resultatdel över innehållet i böckerna och gör relativa jämförelser mellan läroböckerna. Diskussionerna mynnar sedan i slutänden ut i en belysning om och på vilket sätt läroböckerna skapar förutsättningar för att uppfylla de kvantmekaniskt relaterade målen i kursplanen. Avslutningsvis diskuteras vilka slutsatser som kan dras för undervisningen.

4.1 Innehållet i läroböckerna

4.1.1 Atomers struktur

Läroböckerna har en ganska sparsmakad täckning, där alla använder mindre än 3% av bokens sidor för att med text beskriva atomen och dess struktur. Heureka och Nexus använder så lite som 1%. Om man tittar närmare på innehållet så är det två av läroböckerna, Ergo och Orbit, som utmärker sig negativt i sin presentation av atomstrukturen genom att inte sträva mot en lika heltäckande historisk beskrivning som de andra böckerna. Ergo ger ingen kvantmekanisk beskrivning av atomstrukturen, vilket medför att den kvantmekaniskt mest avancerade modellen för atomens struktur som explicit presenteras är Bohrs atommodell. Detta betyder att Ergos verifieringar för synen på hur en atom ser ut endast finns i kunskap fram till och med 1913 då Bohrs atommodell presenterades. Orbit utmärker sig på ett litet annat negativt sätt, här saknas istället en historiskt förankrad beskrivning av modeller före Bohrs atommodell från 1913. Detta medför att läsaren inte får kunskap över hur man tänkte sig att atomen ser ut före kvantmekanikens intåg.

Då det gäller den kvantmekaniska beskrivningen av atomers struktur, anser jag att det finns både förtjänster och mindre lyckade framställningar. Det som jag främst inte gillar är framställningen av kvantmekaniskt spinn. Den klassiska motsvarigheten till spinn är rörelsemängdsmomentet för en roterande makroskopisk kropp, vilket är väl definierad från den klassiska mekaniken (Goldstein, 1981). Men, kvantmekaniskt spinn kan inte utan vidare ses som ett klassiskt fenomen, dels för att det är kvantiserat (det vill säga bara vissa spinnstillstånd är tillåtna) och dels för att matematiska uttryck från klassisk mekanik måste korrigeras på ett icke uppenbart sätt för att ge en korrekt beskrivning (Townsend, 2000). Nexus och Orbit framställer kvantmekaniskt spinn som en ren klassisk rotation runt sin egen axel. Nexus går så långt att de hävdar att Stern och Gerlach (Stern, 1921; Gerlach & Stern, 1921, 1922a, 1922b, 1924, 1925) visade genom sina experiment att elektronerna kan rotera runt sin egen axel. Den utspridda tolkningen av deras berömda experiment är istället att de visade på en kvantisering av ett inre rörelsemängdsmoment, kallad spinn (Townsend, 2000). Heureka är lite försiktigare i sin framställning när de hävdar att spinn kan liknas vid en rotation och Quanta väljer en mycket försiktig framställning där de inte ger sig in i diskussionen om rotation eller inte, utan påpekar att själva ordet spinn kom av att man tänkte sig en egenrotation.

Det är bara två av fem fysikböcker (Heureka och Orbit) som åskådliggör en modern kvantmekanisk beskrivning av elektronernas positioner i en atom med hjälp av figurer och text, vilket är ett nedslående resultat. Att få "bilder" av hur en atom ser ut är ett tydligt sätt att ge elever en ny och modern beskrivning av hur en atom ser ut. Detta bör inte vara en kontroversiell ståndpunkt då denna moderna kunskap trots härstammar ända tillbaka till 1920-talet.

4.1.2 Samband mellan energinivåer och atomspektra

Det verkar finnas en ganska stor spridning över vilken vikt som olika läroboksförfattare lägger vid att förklara detta. Orbit och Quanta använder runt 4% av bokens sidor för att beskriva energinivåer och atomspektra, medan Nexus använder mindre än 2%. Den teoretiska

grunden som används för sambandet mellan energinivåer och atomspektra är i alla fem läroböckerna Bohrs två postulat; den om stabila stationära tillstånd och den om energiövergångar och fotoner (Bohr, 1913). Detta arbete är också den första dokumenterade historiska referens som finns för en ny kvantmekanisk förståelse av detta samband, vilket gör det ytterst välmotiverat att man redogör för Bohrs atommodell. Det enkla faktum att Bohrs postulat håller i en ren kvantmekanisk beskrivning av atomen, väljer dock bara tre av fem läroböcker (Heureka, Orbit och Quanta) att poängtera, och av dessa har Heureka endast med en enda mening om detta. Här anser jag att mer kan göras för förbättra framställningen. Det behövs förmodligen ingen omfattande revidering för att uppfylla detta perspektiv, i alla fall inte för Nexus som redan har en kvantmekanisk framställning som handlar om atomens struktur. Alla läroböckerna har också en matematisk framställning av väteatomens energinivåer och hur man beräknar våglängderna i ett väteatomspektrum. Alla läroböcker har också en beskrivning av både ett absorptions- och ett emissionsspektrum. Dessa är i grunden också kopplade till de enda två möjliga typer av elektroniska övergångar i en atom där atomen växelverkar med en foton (det vill säga upptagande eller avgivande av en foton). Denna beskrivning får därför anses som tillräcklig för att ge en bra grundläggande beskrivning av ett atomspektrum. Slutligen ger alla läroböcker en förklaring av röntgenstrålningens karaktäristiska spektrum utifrån elektroniska övergångar i en atom. Dock väljer Nexus att bara ha en mycket kortfattad beskrivning av detta i en figurtext, ingenting i löptexten.

Rydberg (1890) presenterade i sin artikel en mer generell formel för våglängder för atomspektra än den Balmer (1885) presenterade för endast väte. Därför anser jag att det är olyckligt att man i Quanta (s. 166) väljer att skriva Balmers formel en gång till (bara matematiskt omskriven med en annan konstant, nu med Rydbergs konstant) precis i anslutning till att man har presenterat Rydberg och hans arbete. Detta kan leda till förvirring då elever ska räkna på atomspektra.

Slutligen bör det också påpekas att Nexus gör en olycklig disposition av sin text som mycket lätt kan leda till missuppfattning. De tar upp ljusabsorbering av molekyler i atmosfären i sitt avsnitt om växthuseffekten i samband med att de har presenterat teorin för elektroniska energiövergångar i atomer och med placering precis efter att de diskuterat atomabsorption. Det är därför väldigt lätt att som läsare dra den förhastade slutsatsen att det är elektroniska övergångar som sker i molekylerna. Det som egentligen händer i atmosfären är att det sker absorption av ljus i det infraröda området genom vibrationsenergiövergångar i molekylerna, det vill säga att molekylerna börjar vibrera mera (Atkins, 1998).

4.1.3 Fotonen

Alla läroböckerna introducerar fotonen på samma sätt; genom Plancks kvanthypotes och Einsteins fotonantagande då han förklarade den fotoelektriska effekten. Jag anser att läroböckerna gör en bra introduktion av fotonen när de historiskt och teoretiskt förankrar den hos Planck och Einstein. Plancks kvanthypotes är helt central att ha med för att den dels är den första kvantiserade presentationen av den elektromagnetiska strålningen samtidigt som den ger en proportionell koppling mellan energin för den elektromagnetiska strålningen och frekvensen. Givetvis kan man tänka sig andra sätt att introducera och förklara fotonen på än att förankra begreppet hos Einstein och hans förklaring av den fotoelektriska effekten, men att helt utelämna denna beskrivning skulle kännas konstigt, då det både är ett berömt arbete och det första arbetet som visade på den elektromagnetiska strålningens partikelegenskaper.

I övrigt så använder läroböckerna begreppet foton ekvivalent med ordet elektromagnetisk strålning, då de diskuterar en rad tillämpningar och fenomen. Det enda som egentligen skiljer är vilka fenomen de tagit upp och vilken vikt de lagt vid att ha med många tillämpningar eller ej. Det är som redan framgått lite svårt att avgränsa vilka sidor som ska anses tillhöra kategorin fotoner. Utifrån den klassificering jag har gjort, där jag har utelämnat de sidor som enbart beskriver elektromagnetisk strålning som ett klassiskt fenomen, har jag fått ett resultat

att alla läroböcker har en täckning på runt 3% till 4%. Ingen av läroböckerna sticker därför ut, vid en jämförelse mellan varandra, om man jämför hur stor andel sidor de ger i utrymme eller hur de historiskt och vetenskapligt har förankrat fotonbegreppet. Den enda skillnad som jag möjligen kan peka på är att Heureka och Orbit har en större förankring i verkliga tillämpningar, vilket kan slutledas från att de har flest tillämpningar knutna till fotonen och att flertalet av dessa har medicinska eller tekniska kopplingar.

4.2 Skapar läroböckerna förutsättningar för att uppfylla de kvantmekaniskt relaterade målen i kursplanen?

4.2.1 Atomers struktur

För att läroböckerna ska möjliggöra för gymnasieelever att uppfylla det formulerade målet i kursplanen att: *”Eleven skall ha kunskap om atomers struktur”*, anser jag att de i alla fall bör ge en översiktlig historisk beskrivning av olika atommodeller. För det första bör det finnas modeller före kvantmekanikens intåg, tillsammans med Bohrs semiklassiska atommodell och sist men inte minst en modernare renodlad kvantmekanisk framställning. Endast tre av fem läroböcker uppfyller detta kriterium. Det som i övrigt är oroväckande är att av de fyra läroböcker som väljer att göra en kvantmekanisk framställning, finns det en hel del konstigheter och i mångt och mycket en ofullständig presentation, vilket i alla fall bör medföra att man från förlagen funderar igenom om en revidering behövs. Om konstigheter i framställningen leder till att elever missuppfattar grundläggande koncept eller teorier så leder detta till att kursplanens mål att *”Eleven skall ha kunskap om”* blir svår att efterleva. Helhetsintrycket blir att läroböckerna har stora problem med att skapa bra förutsättningar för att eleven ska kunna uppfylla detta delmål.

4.2.2 Samband mellan energinivåer och atomspektra

I kursplanen står det att: *”Eleven skall ha kunskap om samband mellan energinivåer och atomspektra”*. Alla fem läroböcker använder Bohrs atommodell i allmänhet och Bohrs postulat i synnerhet som teoretiska fundament. Då Bohrs postulat också är förenligt med en kvantmekanisk framställning av atomen, räcker postulaten som grund för framställningen. Dock, betonar bara tre av fem läroböcker detta faktum, men det får nog i sammanhanget ses som en mindre anmärkning. En matematisk framställning av väteatomens energinivåer finns med för alla läroböcker liksom kopplingen till väteatomens atomspektrum, vilket också är i linje med kursplanens målformulering. Alla läroböckerna presenterar både emission och absorption med tillhörande spektrum, vilket är heltäckande då det i grunden endast är två möjliga fall som atomen elektroniskt kan växelverka med en foton. Helhetsintrycket blir att läroböckerna ger elever en godkänd grund att stå på för att uppfylla detta delmål.

4.2.3 Fotonen

Kursplanen har en försiktig formulering då de anser att eleven bara behöver *”ha kännedom om fotonbegreppet”*. Att då ge begreppet en historisk förankring genom Planck och Einstein, samt att i övrigt använda ordet foton ekvivalent med elektromagnetisk strålning, tycker jag räcker för att möjliggöra att kursplanens mål kan uppfyllas. Alla läroböcker uppfyller dessa kriterier mer än väl.

4.3 Slutsatser för undervisning

Hur läroböckerna tar upp atomers struktur medför en rad konsekvenser för undervisningen. En av läroböckerna saknar en kvantmekanisk framställning som ger en modern bild av hur en atom är uppbyggd och strukturerad. Av de fyra läroböckerna som har en sådan modell så finns det stora problem med hur de framställer spinn och att de till största delen skriver om

kvanttal och inte har fokus på att presentera hur man ska se på elektronens positioner i en atom. Bara två av läroböckerna skriver och visar explicit på elektronernas positioner och hur de uppträder inom en atom. Detta medför att om eleverna ska tillgodogöra sig hur en modern bild av en atom ”ser” ut så finns det goda grunder att vara på sin vakt så inte läroboken ställer till problem. Att utifrån en lärobok presentera en bristfällig eller felaktig framställning av atomens struktur, är inget alternativ, i alla fall om man vill uppfylla kursplanen i fysik.

Betydligt mindre problematiskt är att utifrån läroböckerna förstå sambandet mellan energinivåer för atomen och ett atomspektrum, på grund av att alla gör det utifrån Bohrs postulat, vilket är ett konstruktivt och historiskt riktigt angreppssätt. Det man som lärare kan göra är att, vilket inte alla läroböcker gör, betona det faktum att dessa postulat är förenliga med en modern kvantmekanisk beskrivning av atomen. Presentationen av absorptions- och emissionsspektrum i böckerna åtnjuter också överlag positiv kritik. I övrigt bör man läsa texterna noggrant och se upp för fallgropar i framställningen. Speciellt förrädiskt är att diskutera tillämpningar som tar upp andra energiövergångar än elektroniska, vilket Nexus gör då de diskuterar växthuseffekten. Här bör man därför se upp som lärare, så man inte halkar in på translations-, vibrations- eller rotationsenergiövergångar då man pratar om absorption eller emission och dess tillämpningar.

Då det gäller fotonen ger kursplanen stor frihet när de skriver att eleven ska känna till fotonbegreppet. Då jag, som redan skrivits, anser att läroböckerna mer än väl uppfyller detta kriterium, medför detta en stor frihet vad det gäller hur mycket eller hur lite läraren tar upp då det gäller fotonen.

5 Litteraturförteckning

5.1 Analyserade läroböcker

Bergström, Lars; Johansson, Erik; Nilsson, Roy; Alphonse, Rune & Gunnvald, Per (2005). *Heureka! Fysik för Gymnasieskolan kurs B* (1:a upplagan). Stockholm: Natur och Kultur. ISBN 91-27-56722-2.

Ekstig, Börje & Boström, Lennart (2004). *Quanta Fysik B* (1:a upplagan). Stockholm: Natur och Kultur. ISBN 91-27-60503-5.

Gottfridsson, Daniel; Jonasson, Ulf & Lindfors, Tommy (2004). *NeXus Fysik B* (2:a upplagan). Malmö: Gleerups utbildning. ISBN 91-40-64590-8.

Jakobsson, Lars & Johansson, Roland (2005). *Orbit Fysik B* (1:a upplagan). Lund: Studentlitteratur. ISBN 91-44-03229-3.

Pålsgård, Jan; Kvist, Göran & Nilson, Klas (2005). *Ergo Fysik B* (2:a upplagan). Stockholm: Liber. ISBN 91-47-01847-X.

5.2 Referenser

Alexander, Patricia A. & Kulikowich, Jonna M. (1994). Learning from Physics Text: A Synthesis of Recent Research. *Journal of Research in Science Teaching* 31(9), 895-911.

Almén, Mikael (2001). *Fysik i år 7-9. Styrdokumentens syn på skolämnet 1962-2000*. Examensarbete vid Linköpings universitet.

Atkins, Peter W. (1998). *Physical Chemistry*. Oxford: Oxford University Press.

Balmer, Johann (1885). Veröffentlicht seine empirische Formel zu den möglichen frequenzen des wasserstoffspektrums. *Annalen der Physik und Chemie N. F.* 25, 80–87.

Birch, Thomas (editor) (1744). *The Works of the Honourable Robert Boyle*. 5 vols. [new edition in 1772, 6 vols.]

Bohr, Niels (1913). On the Constitution of Atoms and Molecules. *Philosophical Magazine*, 26, 1-25.

Born, Max & Jordan, Pascal (1925). Zur Quantenmechanik. *Zeitschrift für Physik*, 34, 858-888. [English translation in: van der Waerden, B. L., editor, (1968). *Sources of Quantum Mechanics*. Dover Publications.]

Born, Max; Heisenberg, Werner & Jordan, Pascal (1925). Zur Quantenmechanik II, *Zeitschrift für Physik*, 35, 557-615. [English translation in: van der Waerden, B. L., editor, (1968). *Sources of Quantum Mechanics*. Dover Publications.]

- Born, Max (1926). Zur Quantenmechanik der Stoßvorgänge. *Zeitschrift für Physik* 37, 863-867.
- Born, Max (1929). Theory of nuclear disintegration. *Zeitschrift für Physik*, 58, 306-321.
- Brown, Robert (1928). A brief Account of Microscopical Observations made in the Months of June, July, and August, 1827, on the Particles contained in the Pollen of Plants; and on the general Existence of active Molecules in Organic and Inorganic Bodies. *Philosophical Magazine N.S.* 4, 161-173.
- Chandrasekha, Singh (2001). Student understanding of quantum mechanics. *Am. J. Phys.* 69(8), 885-895.
- Chiappetta, Eugene L.; Fillman, David A. & Sethna, Godrej H. (1991a). A Method to Quantify Major Themes of Scientific Literacy in Science Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8), 713-725.
- Chiappetta, Eugene L.; Sethna, Godrej H. & Fillman, David A. (1991b). A Quantitative Analysis of High School Chemistry Textbooks for Scientific Literacy Themes and Expository Learning Aids. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(10), 939-951.
- Compton, Arthur H. (1923). A Quantum Theory of the Scattering of X-rays by Light Elements. *Phys. Rev.* 21, 483-502.
- Cuppari, A.; Rinaudo, G.; Robutti, O. & Violino, P. (1997). Gradual introduction of some aspects of quantum mechanics in a high school curriculum. *Physics Education*, 32, 302-308.
- Dalton, John (1805). On the Absorption by Water and Other Liquids. *Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester*, 1, 271-287.
- Davidsson, Clinton & Germer, Lester (1927). Diffraction of Electrons by a Crystal of Nickel. *Phys. Rev.* 30, 705-740.
- De Broglie, Louis (1923). *Doctoral thesis: Recherches sur la théorie des Quanta*. University of Paris. An English translation can be found in: Haslett, Jared W. (1972). Phase Waves of Louis deBroglie. *Am. J. Phys.* 40(9), 1315-1320.
- Dirac, Paul A. M. (1927). The Quantum Theory of the Emission and Absorption of Radiation. *Proc. Roy. Soc. (London)*, A114, 243-267.
- Dirac, Paul A. M. (1928). The quantum theory of the electron. *Proceedings of the Royal Society of London* A117, 610-624.
- Einstein, Albert (1905a). Ueber einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes Betreffenden Heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik* 17, 132-148. [Titeln blir översatt till engelska: On a heuristic viewpoint concerning the production and transformation of light.]
- Einstein, Albert (1905b). Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen. *Annalen der Physik* 17,

549-560. [Titeln blir översatt till engelska: On the motion of small particles suspended in liquids at rest required by the molecular-kinetic theory of heat.]

Fischler, Helmut & Lichtfeldt, Michael (1992). Modern physics and students' conceptions. *Int. J. Sci. Educ.* 14(2). 181-190.

Fletcher, Peter Robert (2004). *How Tertiary Level Physics Students Learn and Conceptualise Quantum Mechanics*. Doctoral Thesis, School of Physics, University of Sydney.

Fowler, R. H. & Nordheim, Lothar (1928). Electron emission in intense electric field, *Proc. R. Soc. A* 119, 173.

Fraunhofer, Joseph (1817), Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögens verschiedener Glasarten, in Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernrohre. *Denkschriften der koeniglichen Akademie der Wissenschaften zu Muenchen* 5, 193-226 (also in: *Gilberts Annalen der Physik* 56, 264-313).

Gabel, Dorothy L. (1983). What High School Chemistry Texts Do Well and What They Do Poorly. *Journal of Chemical Education* 60, 893-895.

Gamow, George (1928a). Quantum theory of atomic nucleus. *Zeitschrift für Physik*, 51, 204.

Gamow, George (1928b). Quantum theory of nuclear disintegration. *Nature*, 122, 805.

Gardner, Paul L. (1999). The representation of science-technology relationships in Canadian physics textbooks. *Int. J. Sci. Educ.*, 21(3), 329-347.

Gerlach, Walther & Stern, Otto (1921). Der experimentelle Nachweis des magnetischen Moments des Silberatoms. *Zeitschrift für Physik*, 8, 110-111.

Gerlach, Walther & Stern, Otto (1922a). Der experimentelle Nachweis der Richtungsquantelung im Magnetfeld. *Zeitschrift für Physik*, 9, 349-352.

Gerlach, Walther & Stern, Otto (1922b). Das magnetische Moment des Silberatoms. *Zeitschrift für Physik*, 9, 353-355.

Gerlach, Walther & Stern, Otto (1924). Über die Richtungsquantelung im Magnetfeld. *Annalen der Physik*, 74, 673-699.

Gerlach, Walther & Stern, Otto (1925). Über die Richtungsquantelung im Magnetfeld II. *Annalen der Physik*, 76, 163.

Goldstein, Herbert (1981). *Classical Mechanics*. Addison-Wesley Publishing Company.

Gurney, Ronald W. & Condon, Edward U. (1928). Wave mechanics and radioactive disintegration. *Nature*, 122, 439.

Heisenberg, Werner (1925). Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen, *Zeitschrift für Physik*, 33, 879-893. [English translation in: van der Waerden, B. L., editor, (1968). *Sources of Quantum Mechanics*. Dover Publications.]

Heisenberg, Werner (1927). Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. *Zeitschrift für Physik*, 43, 172-198. [English translation: Wheeler, J. A. & Zurek, H. (1983). *Quantum Theory and Measurement*. Princeton Univ. Press, 62-84.]

Hertz, Heinrich (1887). Ueber einen Einfluss des ultravioletten Lichtes auf die electriche Entladung. *Annalen der Physik*, Bd. 267 (= 3. Folge, Bd. 31), 983-1000.

Hobson, Art (2005). Electrons as field quanta: A better way to teach quantum physics in introductory general physics courses. *Am. J. Phys.*, 73(7), 630-634.

Hobson, Art (2007). Teaching Quantum Physics Without Paradoxes. *The Physics Teacher*, 45, 96-99.

Hooke, Robert (1664). *Micrographia: Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses with Observations and Inquiries Thereupon*, London: Royal Society.

Hubisz, John L. (2001). Report on a Study of Middle School Physical Science Texts. *The Physics Teacher*, 39, 304-309.

Huygens, Christiaan (1690). *Treatise on light*. Rendered into English by: Thompson, Solvanus P. (1912). University of Chicago Press.

Ireson, Gren (2000). The quantum understanding of pre-university physics students. *Phys. Educ.* 35(1), 15-21.

Ivanov, Stefan (2006). *Theoretical and Quantum Mechanics. Fundamentals for Chemists*. Dordrecht: Springer.

Johansson, Bo & Svedner, Per Olov (2006). *Examensarbetet i lärarutbildningen. Undersökningsmetoder och språklig utformning*. Uppsala: Kunskapsföretaget i Uppsala.

Johnston, I. D.; Crawford, K. & Fletcher P. R. (1998). Students difficulties in learning quantum mechanics. *Int. J. Sci. Educ.*, 20(4), 427-446.

Kirchhoff, Gustav & Bunsen, Robert (1860). Chemische Analyse durch Spektralbeobach. *Annalen der Physik und der Chemie*, 110, 161-189. (Titeln översatt till engelska: Chemical Analysis by Observation of Spectra)

Lewis, Gilbert (1926). The conservation of photons. *Nature*, 118, 874-875.

Liboff, Richard L. (1992). *Introductory Quantum Mechanics* (2nd edition). USA: Addison-Wesley Publishing Company.

Mandelshtam, L. I. & Tamm, I. E. (1945). The uncertainty relation between energy and time in nonrelativistic quantum mechanics. *Izv. Akad. Nauk SSSR (ser. fiz.)* 9, 122-128. (English translation; (1945). *J. Phys. (USSR)* 9, 249-254).

Mendeleev, Dmitriy (1869). The Relation between the Properties and Atomic Weights of the Elements. *Journal of the Russian Chemical Society* 1, 60-77.

- Mendeleev, Dmitriy (1871). A Natural System of the Elements and its Use in Predicting the Properties of Undiscovered Elements. *Journal of the Russian Chemical Society* 3, 25-56.
- Newton, Isaac (1672). The New Theory about Light and Colours (quoted in Thayer, H.S., (Ed.) Newton's Philosophy of Nature, Hafner, 1953). *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 80, 3075-3087.
- Nielsen, J. Rud (1976). The Correspondence Principle (1918-1923). *Niles Bohr – Collected Work, vol 3*. Amsterdam: North-Holland.
- Oppenheimer, Robert (1928). Quantum theory of autoelectric field currents. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 14, 363.
- Pauli, Wolfgang (1925). Über den Zusammenhang des Abschlusses der Elektronengruppen im Atom mit der Komplexstruktur der Spektren. *Zeits. f. Phys.* 31, 765-783.
- Planck, Max (1899). Über irreversible Strahlungsvorgänge. *Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften*, vol. 5, 479.
- Planck, Max. (1900). Entropy and Temperature of Radiant Heat. *Annalen der Physick*, vol. 1 no 4, 719-737.
- Planck, Max. (1901). On the Law of Distribution of Energy in the Normal Spectrum. *Annalen der Physik*, vol. 4, 553.
- Posner, G. J.; Strike, K. A.; Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education* 66, 211-227.
- Ruis, Stephen P. (1988). Something's Wrong about Chemistry Textbooks. *Journal of Chemical Education* 65, 720-721.
- Rutherford, Ernest (1911). The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom. *Philosophical Magazine* 6(21), 669-688.
- Rydberg, Janne (1890). Recherches sur la constitution des spectres d'émission des éléments chimiques. *Kungliga vetenskapsakademins handlinger* 23(11).
- Röntgen, Wilhelm C. (1895). Über eine neue Art von Strahlen (Vorläufige Mitteilung). *Sitzungsberichte der Würzburger Physikalischen-Medicinischen Gesellschaft* 137, 132-141. (översatt av: Stanton, Arthur (1896) On a New Kind of Rays. *Nature* 53, 274-276.).
- Röntgen, Wilhelm C. (1896). Über eine neue Art von Strahlen (2. Mitteilung). *Sitzungsberichte der Würzburger Physikalischen-Medicinischen Gesellschaft* 2, 11-17.
- Sawicki, Mikolaj (1996). What's Wrong in the Nine Most Popular Texts. *The Physics Teacher*, 34, 147-149.

Schrödinger, Erwin (1926a). Quantization as an Eigenvalue Problem (First Communication). *Annalen der Physik* 79 (4), 361-376. [English translation in Gunter Ludwig Wave Mechanics 94-105 (Pergamon Press, 1968) ISBN 08-103204-8]

Schrödinger, Erwin (1926b). Quantization as an Eigenvalue Problem (Second Communication). *Annalen der Physik* 79 (6), 489-527. [English translation in Gunter Ludwig Wave Mechanics 106-126 (Pergamon Press, 1968) ISBN 08-103204-8]

Schrödinger, Erwin (1926c). Quantization as an Eigenvalue Problem (Third Communication). *Annalen der Physik* 80 (13), 437-490. [English translation in Gunter Ludwig Wave Mechanics 127-150 (Pergamon Press, 1968) ISBN 08-103204-8]

Schrödinger, Erwin (1926d). Quantization as an Eigenvalue Problem (Fourth Communication). *Annalen der Physik* 81 (18), 109-139. [English translation in Gunter Ludwig Wave Mechanics 151-167 (Pergamon Press, 1968) ISBN 08-103204-8]

Serway, Raymond A.; Moses, Clement J. & Moyer, Curt A. (1989). *Modern Physics*. Saunders HBJ College Publishers.

Shiland, Thomas W. (1995). What's the Use of All this Theory? The Role of Quantum Mechanics in High School Chemistry Textbooks. *Journal of Chemical Education*, 72(3), 215-219.

Shiland, Thomas W. (1997). Quantum Mechanics and Conceptual Change in High School Chemistry Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching* 34(5), 535-545.

SKOLFS 2000:49. *Senaste lydelsen av Skolverkets föreskrifter om kursplanen och betygsriterier för kurser i ämnet fysik i gymnasieskolan och inom gymnasial vuxenutbildning*. Inrättad 1 juli 2000. Hämtad 9 maj 2007 från <http://www.skolverket.se/skolfs?id=728>.

Skolverket (2005). *Gymnasieskolan*. Publicerat 7 februari 2005. Hämtad 6 maj 2007 från <http://www.skolverket.se/content/1/c4/08/42/gymnasieskola.pdf>.

Stern, Otto (1921). Ein Weg zur experimentellen Prüfung der Richtungsquantelung im Magnetfeld. *Zeitschrift für Physik*, 7, 249-253.

Styer, Daniel F. (1996). Common misconceptions regarding quantum mechanics. *Am. J. Phys.*, 64, 31-34.

Styer, Daniel F. (1999). *Appendix A: A Brief History of Quantum Mechanics*. Booktitel: *The Strange World of Quantum Mechanics*. Cambridge University Press. Hämtad från: <http://www.oberlin.edu/physics/dstyer/StrangeQM/history.html>, den 20 maj 2007.

Svenska akademins ordbok (2007). Sökt 9 maj 2007 i den elektroniska ordboken på www.saob.se.

Swartz, Clifford E. (1999). Survey of High-School Physics Texts. *The Physics Teacher*, 37, 283-308.

Thomson, Joseph John (1897). Cathode rays. *Philosophical Magazine* 44, 293-316.
(Upptäckten publicerad samma år men 6 månader tidigare i *The Electrician* 39, 104).

Townsend, John S. (2000). *A Modern Approach to Quantum Mechanics*. University Science Books.

Wilkinson, John (1999). A Quantitative Analysis of Physics Textbooks for Scientific Literacy Themes. *Research in Science Education*, 29(3), 385-399.

Young, Thomas (1802). The 1801 Bakerian Lecture: On the theory of light and colours. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 92, 12-48.

BILAGA 1

Lärobok: Ergo Fysik B TEXTANALYS	Atomers struktur	Samband mellan energinivåer och atomspektra	Fotonen	KKMD*	TOTALT I HELA BOKEN
Historisk presentation?	JA [1:1]	JA [1:2]	JA [1:3]	* KKMD är summan av de tre första kolumnerna om inget annat anges	
Motivering eller verifiering?	JA [2:1]	JA [2:2]	JA [2:3]		
Tillämpningar?	JA [3:1]	JA [3:2]	JA [3:3]		
Kommentarer?	JA [4:1]	JA [4:2]	NEJ		
Antal sidor**	7 (s. 65-70,74,(79),309)	14 (s. 70-72, 74-85, 92-93)	16 (s. 72-73,86-92,387-392)	47	454 (s. 6-459)
Andel sidor i procent	1.5%	3.1%	3.5%	10.4%	
Antal övningsuppgifter	8 (2.1-2.5,2.30-31,2.43)	37 (2.10-21,2.27-29, 2.32-42,2.44-49,1,2,5,6,9)	14 (2.6-8,2.22-26,2.50, 3,4,7,8,10)	60	651
Andel övningsuppgifter i procent	1.2%	5.7%	2.2%	9.1%	
Antal exempel	1 (2:1)	5 (2:4-8)	5 (2:2,2:9-12)	11	164

** Antal sidor är avrundat uppåt till närmaste heltal. För KKMD tillkommer även sidor för sammanfattning och övningsuppgifter

- [1:1] Beskrivning från antika grekland (Demokritos m.fl.) fram till Rutherford's atommodell (s. 65-70). Bohrs atommodell (s. 74-79).
- [2:1] Rutherford (1911) påvisade atomkärnan. Bohr (1913) förklarar diskreta spektrallinjer.
- [3:1] Bohrs atommodell (Bohr, 1913) används som teoretisk grund för samband mellan energinivåer och atomspektra.
- [4:1] En modern kvantmekanisk beskrivning av atomens struktur saknas
- [1:2] Fraunhoferlinjer bestäms av Fraunhofer (1817). Spektroskopiundersökningar av Kirchhoff & Bunsen (1860). Balmer-serien (Blamer, 1885) och Rydberg (Rydberg, 1890). Bohrs atommodell.
- [2:2] Bohrs postulat gäller för alla atomer. Bohrs beskrivning av väteatomen (s. 75-79). Atom har sitt karakteristiska linjespektrum (s. 81).
- [3:2] 1) Emissionspektrum, 2) absorptionspektrum, 3) luminiscens (som tas upp i speciellt avsnitt och inte tillsammans med emission), 4) Röntgenstrålning.
- [4:2] En kvantmekanisk beskrivning av atomen saknas
- [1:3] Kvanthypotesen (Planck, 1900), Fotonfenomensintroduktion (Einstein, 1905a); (s. 72-73, 86-89). Röntgenstrålning (Röntgen, 1895).
- [2:3] Kvanthypotesen förklarade samband mellan strålning och temperatur. Fotoner förklarar fotoelektrisk effekt. Fotoner förklarar Comptoneffekt (Compton, 1923)
- [3:3] 1) Fotoelektrisk effekt, 2) röntgenfotografering 3) röntgendiffraction 4) annihivering, 5) Comptonspridning, och 6) parbildning.

BILAGA 2

Lärobok: Heureka Fysik B TEXTANALYS	Atomers struktur	Samband mellan energinivåer och atomspektra	Fotonen	KKMD*	TOTALT I HELA BOKEN
Historisk presentation?	JA [1:1]	JA [1:2]	JA [1:3]	* KKMD är summan av de tre första kolumnerna om inget annat anges	
Motivering eller verifiering?	JA [2:1]	JA [2:2]	JA [2:3]		
Tillämpningar?	JA [3:1]	JA [3:2]	JA [3:3]		
Kommentarer?	JA [4:1]	JA [4:2]	NEJ		
Antal sidor**	5 (s. 304,(308),314-318)	12 (s. 305-314,321-322, ,324-325)	15 (s. 268-274,357,358, ,380,381,385,386,388,389)	43	438 (s. 9-446)
Andel sidor i procent	1.1%	2.7%	3.4%	9.8%	
Antal övningsuppgifter	4 (12.1,12.23-24,12.28)	17 (12.2-16,12.26-27)	12 (10.7-13,10.15-17, 12.25,14.3)	33	434
Andel övningsuppgifter i procent	0.9%	3.9%	2.8%	7.6%	
Antal exempel	1 (12:1)	2 (12:2-3)	3 (10:1-2,13:3)	6	164

** Antal sidor är avrundat uppåt till närmaste heltal. För KKMD tillkommer även sidor för sammanfattning och övningsuppgifter.

- [1:1] Brownsk rörelse (Brown, 1827), Thomson (1897), Rutherford (1911); (s.304). Bohrs atommodell (s. 308). Vågfunktion (De Broglie, 1923) och Schrödingers vågekvation (Schrödinger, 1926a-d); (s.315). Kvanttal och Pauliprincipen (Pauli, 1925); (s.316-318).
- [2:1] Thomson upptäckte elektronen. Rutherford påvisade atomkärnan. Bohrs atommodell. Kvantmekanisk atommodell.
- [3:1] 1) Bohrs atommodell ger teoretisk grund för samband mellan energinivåer och atomspektra. 2) Kvanttalen och Pauliprincipen skapar teoretisk grund för periodiska systemets uppbyggnad.
- [4:1] Kan ha förtydligat sitt resonemang runt spinn och rotation.
- [1:2] Väteatomens energinivåer och atomspektra utifrån Bohrs atommodell (s. 308-310).
- [2:2] Bohrs atommodell för atomer i allmänhet och väteatomen i synnerhet. Varje atomslag har sitt karakteristiska linjespektrum (s. 307).
- [3:2] 1) Emissionspektrum, 2) absorptionspektrum 3) Röntgenstrålning, 4) Laserljus.
- [4:2] Endast en mening för en kvantmekanisk motivering av energinivåer i atomer
- [1:3] Plancks kvanthypotesen och Einsteins fotonfenomensintroduktion (s. 268-269). Comptonspridning (s. 273-274).
- [2:3] Kvanthypotesen förklarade samband mellan strålning och temperatur. Fotoner förklarar fotoelektrisk effekt. Fotoner förklarar Comptoneffekt.
- [3:3] 1) Fotoelektrisk effekt, 2) laserljus (s. 324-325), 3) röntgenfotografering (s. 273), 4) Laser inom informationsteknologi (s. 326), 5) Hologram (s. 327), 6) datortomografi (s. 385), 7) Magnetkameran (s. 385-387), 8) Gammakamera (s. 387-388), 9) Fotonbestrålning av cancerceller (s. 388-389).

BILAGA 3

Lärobok: NeXus Fysik B TEXTANALYS AV KKMD	Atomers struktur	Samband mellan energinivåer och atomspektra	Fotonen	KKMD*	TOTALT I HELA BOKEN
Historisk presentation?	JA [1:1]	JA [1:2]	JA [1:3]	* KKMD är summan av de tre första kolumnerna om inget annat anges	
Motivering eller verifiering?	JA [2:1]	JA [2:2]	JA [2:3]		
Tillämpningar?	JA [3:1]	JA [3:2]	JA [3:3]		
Kommentarer?	JA [4:1]	JA [4:2]	NEJ		
Antal sidor**	4 (s. 211,(212),215-217)	6 (s. 212-214,218-220)	11 (s. 166, 195-207)	25	354 (s. 6-359)
Andel sidor i procent	1.1%	1.7%	3.1%	7.1%	
Antal övningsuppgifter	2 (532,536)	10 (526-531,533-535,537)	22 (408,501-520,561)	34	854
Andel övningsuppgifter i procent	0.2%	1.2%	2.6%	4.0%	
Antal exempel	1 (5.9)	2 (5.8,5.10)	6 (4.1,5.1-5.5)	9	93

** Antal sidor är avrundat uppåt till närmaste heltal. För KKMD tillkommer även sidor för sammanfattning och övningsuppgifter.

- [1:1] Elektronen (Thomson, 1897), Rutherford's och Bohrs atommodeller (s. 211-212). Kvantmekanisk atommodell (s. 215-217).
- [2:1] Rutherford's atommodell påvisar atomkärnan. Bohr (1913) förklarar diskreta spektrallinjer. Lösning till Schrödingers ekvation för en elektron runt atomkärna medför villkor på kvanttal (s. 215). Elektronernas tillstånd i en atom kan fullständigt beskrivas med fyra kvanttal (s. 215).
- [3:1] 1) Teoretisk grund för samband mellan energinivåer och atomspektra. 2) Kvanttalen och Pauliprincipen skapar teoretisk grund för periodiska systemets uppbyggnad.
- [4:1] De presenterar en klassisk bild av elektronegenrotation utan att ta in kvantmekanisk kvantisering i sin motivering (s. 121, 215)
De hävdar att Stern Gerlach visade att elektroner kan rotera runt sin egen axel (s. 215)
Saknar detaljerad kvantmekanisk beskrivning av elektronernas positioner i en atom.
- [1:2] Rydbergs formel och Bohrs postulat (s.212).
- [2:2] Bohrs atommodell förklarar väteatomsspektra (s. 213).
- [3:2] 1) Flamemission: Förgasar och hettar upp gasen kraftigt och ser vilka våglängder som sänds ut som ljus (s. 218). 2) Atomabsorption: Förgasar ett prov och sänder ljus genom det och ser vilka våglängder som saknas (s.218-219). 3) Växthuseffekten (s. 220), 4) Röntgenstrålning.
- [4:2] Kan finnas förståelseproblem att ta upp IR absorption i anslutning till elektroniska energiövergångar då växthuseffekten förklaras.
Ingen kvantmekanisk motivering för sambandet mellan energinivåer och atomspektra.
- [1:3] Kvanthypotesen (Planck, 1900); (s. 166). Förklaring av fotoelektrisk effekt med fotonfenomenet (Einstein, 1905a); (s.195).
- [2:3] Kvanthypotesen förklarade samband mellan strålning och temperatur (s. 166). Fotoner förklarar fotoelektrisk effekt (s. 195).
Fotonkollision med elektron kan beskrivas som elastisk stöt (Compton, 1923)
- [3:3] 1) Fotoelektrisk effekt, 2) Comptonspridning, 3) parbildning, 4) annihilation, och 5) röntgenundersökningar.

BILAGA 4

Lärobok: Orbit Fysik B TEXTANALYS	Atomers struktur	Samband mellan energinivåer och atomspektra	Fotonen	KKMD*	TOTALT I HELA BOKEN
Historisk presentation?	JA [1:1]	JA [1:2]	JA [1:3]	* KKMD är summan av de tre första kolumnerna om inget annat anges	
Motivering eller verifiering?	JA [2:1]	JA [2:2]	JA [2:3]		
Tillämpningar?	JA [3:1]	JA [3:2]	JA [3:3]		
Kommentarer?	JA [4:1]	NEJ	NEJ		
Antal sidor**	8 (s. 212, 215-217, 225-229)	15 (s. 211-215, 217-224, 234-236)	15 (s. 193-194, 206-210, 232, 256, 257, 273, 274, 295-298)	43	355 (s. 9-363)
Andel sidor i procent	2.3%	4.2%	4.2%	12.1%	
Antal övningsuppgifter	2 (611-612)	14 (603-610, 616, 618-620, 624-625)	6 (601-602, 614, 615, 617, 627)	22	316
Andel övningsuppgifter i procent	0.6%	4.4%	1.9%	7.0%	
Antal exempel	2 (6:5-6)	3 (6:2-4)	1 (6:1)	6	62

** Antal sidor är avrundat uppåt till närmaste heltal. För KKMD tillkommer även sidor för sammanfattning och övningsuppgifter.

- [1:1] Bohrs atommodell (s. 212). Schrödingers vågekvation (s. 225). Pauliprincipen (s. 226). Kvanttal (s. 225-229).
- [2:1] Bohrs atommodell. Kvantmekanisk atommodell.
- [3:1] 1) Bohrs atommodell som teoretisk grund för samband mellan energinivåer och atomspektra. 2) Kvanttalen och Pauliprincipen skapar teoretisk grund för periodiska systemets uppbyggnad.
- [4:1] Historisk redogörelse före Bohrs atommodell saknas. Den kvantmekaniska framställningen är bra men spinn kan ges en bättre förklaring.
- [1:2] Bohrs postulat som grund för alla atomer och härledning av väteatomens energinivåer och atomspektrum (s. 212-215).
- [2:2] Bohrs atommodell ger väteatomspektrum. Varje atomslag har sitt karakteristiska linjespektrum (s. 307). Bohrs postulat konsistent med kvantmekanisk atommodell.
- [3:2] 1) Emissionspektrum, 2) absorptionspektrum, 3) Röntgenstrålning, 4) Laserljus.
- [1:3] Plancks kvanthypotes (s. 193-194, 208). Einsteins fotonfenomensintroduktion (s. 206-207).
- [2:3] Kvanthypotesen förklarade samband mellan strålning och temperatur. Fotoner förklarar fotoelektrisk effekt.
- [3:3] 1) Fotoelektrisk effekt, 2) Comptonspridning (s. 210), 3) parbildning (s. 210), 4) annihilation (s. 210), 5) strålningstryck (s. 210). 6) Laser inom informationsteknologi (s. 232, 236), 7) Laserknivar (s. 232, 237), 8) Hologram (s. 238-240) 9) Gammafotonräkning med GM-rör (s. 256-257), 10) paperstjockleksmätning genom gammafotonabsorption (s. 298).

BILAGA 5

Lärobok: Quanta Fysik B TEXTANALYS	Atomers struktur	Samband mellan energinivåer och atomspektra	Fotonen	KKMD*	TOTALT I HELA BOKEN
Historisk presentation?	JA [1:1]	JA [1:2]	JA [1:3]	* KKMD är summan av de tre första kolumnerna om inget annat anges	
Motivering eller verifiering?	JA [2:1]	JA [2:2]	JA [2:3]		
Tillämpningar?	JA [3:1]	JA [3:2]	JA [3:3]		
Kommentarer?	JA [4:1]	JA [4:2]	NEJ		
Antal sidor**	7 (s. 166,167,(168), 175,180-184)	13 (s. 164-166,168-172, 176-179,187-188)	12 (s. 137-138,143-150, 189,225-226,228)	44	334 (s. 6-339)
Andel sidor i procent	2.1%	3.9%	3.6%	13.2%	
Antal övningsuppgifter	17 (403-406,426-428, 440-448,450,472)	36 (401,402,407-421,425, 429-438,449,459,465-470)	32 (324-344,423,424, 454-458,460-462,471)	85	517
Andel övningsuppgifter i procent	3.3%	7.0%	6.2%	16.4%	
Antal exempel	0	4 (4:1-4)	4 (3:5-7,4:5)	8	91

** Antal sidor är avrundat uppåt till närmaste heltal. För KKMD tillkommer även sidor för sammanfattning och övningsuppgifter.

- [1:1] Demokritos myntade begreppet atom (s. 166). Thomson upptäckte elektronen (s. 167). Rutherford's atommodell (s. 167). Bohrs atommodell (s. 168,175). Vågfuncton och Schrödingers vågekvation (s. 181). Pauliprincipen (s. 182).
- [2:1] Thomson upptäckte elektronen. Rutherford påvisade atomkärnan. Bohrs atommodell. Kvantmekanisk atommodell.
- [3:1] 1) Teoretisk grund för samband mellan energinivåer och atomspektra. 2) Kvanttalen och Pauliprincipen skapar teoretisk grund för periodiska systemets uppbyggnad.
- [4:1] Kan ha förtydligat sitt resonemang runt spinn och rotation.
Saknar detaljerad kvantmekanisk beskrivning av elektronernas positioner i en atom.
- [1:2] Historik om väteatomens spektrum presenteras genom Balmer, Ångström och Rydberg. Bohrs atommodell. Fraunhoferlinjerna (Fraunhofer, 1817)
- [2:2] Bohrs atommodell ger väteatomspektrum och Balmers formel härledd (s. 176-179). Varje grundämne har sitt specifika spektrum (s. 165).
- [3:2] 1) Emission, 2) absorption, 3) Röntgenstrålning, 4) laserljus (stimulerad emission).
- [4:2] Två identiska versioner av Balmers formel men skrivna lite annorlunda kan förvirra läsaren.
- [1:3] Kvanthypotesen, Einsteins fotonintroduktion, Comptonspridning; (s. 143-150). Röntgenstrålning (s. 186-189,228), gammastrålning (s. 225-226,228).
- [2:3] Kvanthypotesen behövs för Plancks strålningslag. Fotoner förklarar fotoelektrisk effekt.
Fotonbegreppet bekräftas av Compton (s. 149).
- [3:3] 1) Fotoelektrisk effekt, 2) Comptonspridning, 3) röntgendiffraction, 4) röntgenundersökningar, 5) datortomografi, 6) scintillationsdetektion.